

## 1. OBJETIVO

Establecer los pasos y las actividades que se deben realizar para elaborar la cartografía geomorfológica en 2D aplicada a levantamiento de suelos de acuerdo con el sistema de clasificación geomorfológica definido para Colombia por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

## 2. ALCANCE

Este instructivo hace parte del procedimiento "Cartografía geomorfológica aplicada a levantamiento de suelos", inicia con la definición de insumos requeridos, continúa con la planeación y asignación de áreas de trabajo, la configuración del ambiente de trabajo, estructuración de la capa de interpretación geomorfológica, generación del proyecto de trabajo, proceso de interpretación y finaliza con los procesos de interpretación, finaliza con el ajuste y entrega final de la capa interpretada.

El presente instructivo aplica al proceso de Gestión de Información Geográfica, a los servidores públicos y contratistas del subproceso gestión agrológica que ejecuten labores relacionadas a la cartografía geomorfológica digital en 2D, de acuerdo con las consideraciones consignadas en el instructivo "Elaboración de cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos".

## 3. DEFINICIONES

- **Arc Catalog:** Módulo de ArcGIS que permite estructurar información espacial la cual puede ser organizada, visualizada y almacenada para la gestión de datos e información.
- **ArcGIS:** Software de sistemas de información geográfica para visualización, creación, administración, manipulación y gestión de la información geográfica.
- **Arc Map:** Módulo de ArcGIS, que permite visualizar, consultar y crear información espacial geográfica.
- **Cobertura de la tierra:** Son los diferentes rasgos que cubren la tierra, tales como agua, bosque, tipos de vegetación, rocas desnudas o arenas, estructuras hechas por el hombre, etc. Estos rasgos pueden ser detectados directamente o por sensores remotos.
- **DEM:** Superficie en formato digital compuesta por una matriz de píxeles regularmente espaciada, en la cual cada píxel corresponde a un valor de posición (X, Y) y de elevación del terreno (Z).
- **Estereoscopia:** Busca un efecto de relieve, permite la profundidad de los elementos con detalle y precisión. Esto es obtenido mediante la observación de dos fotografías o imágenes de un mismo objeto tomadas desde diferentes ángulos de observación, bajo ciertas condiciones.
- **Geodatabase:** Arreglo ordenado de datos georreferenciados relacionados entre sí, clasificados y agrupados según sus características, bajo control de redundancias e integrados para el desarrollo de aplicaciones y análisis sobre la información.
- **Proyecto de trabajo:** Archivo binario en el cual se puede visualizar archivos vector y raster, sobre el cual se puede realizar extracción y edición de entidades vectoriales en 2D y 3D. Su extensión es \*.mxd y se accede por medio de software ArcGIS, módulo ArcMap.

## 4. DESARROLLO

### 4.1. GENERALIDADES

- La entrada y salida de la información debe ser regulada por parte del funcionario que se designe, con el fin de que la información sea entregada únicamente para uso interno del Instituto.
- Se debe mantener la confidencialidad y seguridad de la información digital y la producción cartográfica realizada en el proyecto.
- El personal que tenga acceso a los equipos debe hacer uso debido del hardware y del software utilizado, con el fin de evitar errores y demoras referentes a la generación de productos cartográficos.

### 4.2. INSUMOS

Para la realización de la interpretación digital en 2D de la geomorfología aplicada a levantamientos de suelos, debe contarse con los siguientes insumos:

#### 4.2.1. EQUIPOS

Tabla 1. Requerimientos equipo interpretación 2D.

REQUERIMIENTOS DE SISTEMA	
<b>Computador/Procesador:</b>	Estación de trabajo con procesador INTEL Xeon o Intel i7
<b>Sistema Operativo:</b>	Windows 8.1 Pro o Windows 7 64 bits
<b>Memoria RAM</b>	Mínimo: 8 Gb. Recomendado 16 Gb.
<b>Espacio en Disco Duro</b>	Mínimo: 1Tb
<b>Monitor</b>	1 Monitor frecuencia de refresco vertical mínima de 120 Hz. Preferiblemente >20"
	1 Monitor auxiliar de similares características o genérico, tamaño mayor a 20".
<b>Software</b>	ArcGIS Versión 10.x, extensiones 3D Analyst y Spatial Analyst. Para algunas actividades específicas debe estar activada la licencia ArcGIS Advanced.
	Adobe Reader 9.0 o posterior para documentación en línea. Paquete Office o similares.
<b>Puerto</b>	Puertos USB disponibles para conexión de periféricos.

#### 4.2.2. INSUMOS TÉCNICOS

##### ◦ Cartografía básica:

La cartografía básica digital (vías, drenajes, curvas de nivel, entre otras) es suministrada por parte de la Dirección de Información Geográfica. Esta es una información de referencia que sirve de apoyo para el proceso de interpretación.

##### ◦ DEM y productos relacionados:

El Modelo de Elevación Digital (DEM por sus siglas en inglés) consiste en una matriz de píxeles regularmente espaciada, en la cual cada píxel corresponde a un valor de elevación del terreno (Yu&Linlin, 2010). Asociado a este producto se derivan otros insumos como el modelo de sombras y el modelo de pendientes, los cuales permiten tener información útil para proceso de interpretación. Se usan los modelos avalados por la Dirección de Información Geográfica, además de otros modelos de alta resolución espacial disponibles y de uso libre. En la Tabla 2 se presenta un resumen de los DEM utilizados en el proceso de interpretación.

Tabla 2. Características generales de algunos DEM y los sensores fuente.

MODELO DIGITAL DE ELEVACION (DEM)		
DEM	SENSOR	CARACTERISTICAS
DEM 30m	<b>SRTM</b> (Shuttle Radar Topography Mission)	Producto derivado de la Misión Transbordador Radar Topográfico, sensor activo con una longitud de onda de 5.6 cm, y colectando tal información en febrero del 2000 (Smith & Sandwell, 2003)
DEM 12m	<b>ALOS</b> (Advanced Land Observing Satellite-1) <b>PALSAR</b> (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar)	Producto generado por un sensor activo usando frecuencias en la banda L, con frecuencia de 1,3 GHz, una resolución espacial entre 10 y 100 m y con una longitud de onda de 15 cm. (Vargas, 2013)
DEM 5m	<b>GeoSAR</b> (Geographic Synthetic Aperture Radar)	Producto generado por un sensor usando frecuencias de banda P y banda X, con frecuencia 9.70 GHz y con una longitud de onda 3 cm a 86 cm

##### ◦ Modelo de sombras (Hillshade):

Este modelo es generado a partir del DEM, el cual permite la visualización del relieve a partir de dos parámetros denominado Azimut y Altitud. El azimut es el ángulo de la fuente de iluminación, y es expresado en grados positivos de 0° a 360° medidos en sentido de las manecillas del reloj. La altitud es

el ángulo de la fuente de luz sobre el horizonte, y es expresada en el rango entre 0° y 90° cuando la dirección de la luz es perpendicular a la superficie. Cuando este modelo es generado, el software ArcGIS define por defecto los valores de los parámetros mencionados: para el azimut se define un ángulo de 315° y para la altitud de la fuente de iluminación es 45° (Imagen 1).

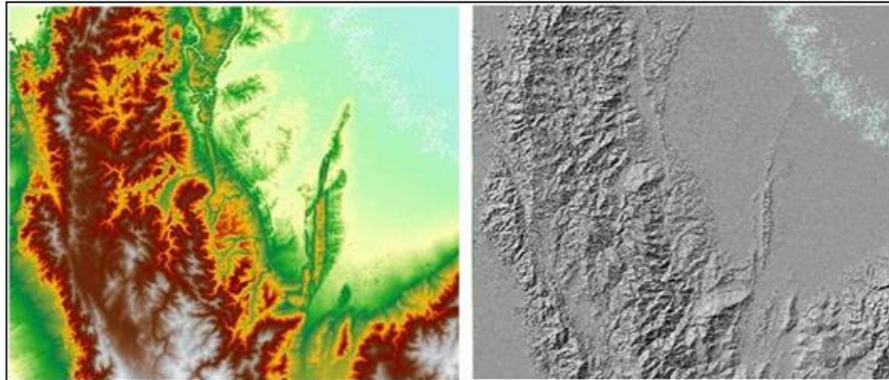


Imagen 1. Izquierda: Modelo Digital de Elevaciones DEM; Derecha: Modelo de sombras generado a partir del procesamiento del DEM.

◦ Modelo de pendientes (Slope):

Muestra el gradiente o tasa de cambio en el eje Z con respecto a la superficie (ejes X y Y). Puede ser calculada en grados o en porcentaje de inclinación; en la Subdirección de Agrología se utiliza la clasificación de pendiente en porcentaje adoptada en el Instructivo "Descripción y muestreo de suelos", en el cual se encuentra la caracterización de los rangos de pendiente. Correspondiente a los rangos de pendiente establecidos, se adopta una paleta de colores para despliegue del modelo de pendientes, referida en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de pendientes por rangos en porcentaje, y escala de colores empleada para su visualización.

CÓDIGO	CLASE DE PENDIENTE	PENDIENTE %	VALOR RGB	COLOR
<b>a</b>	Ligeramente plano	0 - 3 %	R:0 -G:97 -B:0	
<b>b</b>	Ligeramente inclinado	3 - 7 %	R:85 -G:145 -B:0	
<b>c</b>	Moderadamente inclinado	7 - 12 %	R:164 -G:196 -B:0	
<b>d</b>	Fuertemente inclinado	12 - 25 %	R:0 -G:255 -B:197	
<b>e</b>	Moderadamente escarpado	25 - 50 %	R:255 -G:186 -B:0	
<b>f</b>	Escarpado	50 - 75 %	R:255 -G:0 -B:0	
<b>g</b>	Muy escarpado	> 75 %	R:0 -G:0 -B:0	

◦ Imágenes de sensores remotos activos o radar:

El radar es un instrumento de sensor remoto que genera su propia señal (sensor activo), procesa la respuesta recibida del terreno (retro dispersión) y genera una imagen de acuerdo con estos registros. Por lo anterior, no depende de la luz solar para captar información y su funcionamiento dentro del rango de las microondas (Tabla 4) permite penetrar la cobertura nubosa a diferencia de las imágenes ópticas. El patrón o respuesta que se recibe del terreno depende de la superficie con la cual se

encuentra la señal, del ángulo de incidencia y de la longitud de onda emitida por el sensor. Esta última variable se agrupa en bandas de acuerdo con la longitud de onda emitida.

Tabla 4. Longitudes de onda y Frecuencias de emisión de los sensores tipo RADAR en cada una de las bandas.

Sensor	Banda	Longitud de onda ( $\lambda = \text{cm}$ )	Frecuencia (GHz)	Resolución espacial
GeoSAR	P	30-100	0,3 - 1	6 m
COSMO SKYMED	L	15 - 30	1 - 2	1 m
RADARSAT	C	3,75 - 7,5	4 - 8	25 m
GeoSARTerraSAR COSMO SKYMED	X	2,4 - 3,75	8 - 12,5	3 m

° Imágenes de sensores remotos pasivos o imágenes satelitales ópticas.

Estos productos de sensores remotos pasivos (o que procesan la información obtenida de la superficie de acuerdo con la respuesta de los elementos con respecto a la radiación solar), son obtenidos por sistemas que operan mediante una órbita alrededor del planeta. Difieren entre sí de acuerdo con la resolución espacial, temporal, espectral y radiométrica. Los principales programas de observación de la tierra a partir de los cuales se obtienen estas imágenes son los siguientes (Tabla 5).

Tabla 5. Principales características de algunos sensores satelitales ópticos.

SENSOR	Resoluciones				
	Espacial (m)	Espectral	Pancromática	Termal	Temporal/ Radiométrica
Landsat 8	15; 30; 100	8 bandas	1 banda	2 bandas	16 días / 12 bits.
RapidEye	5; 6,5	5 bandas	--	--	5,5 días / 12 y 16 bits
Spot 5	2,5;5; 10	4 bandas	1 banda	--	2 - 3 días / 8 bits
Sentinel 2	10; 20; 60	13 bandas	--	1 banda	10 días / 12 bits

° Fotografías aéreas ortofoto corregidas y ortofoto mosaicos.

Las fotografías aéreas orto rectificadas provienen de cámaras especiales aerotransportadas. De acuerdo con la altura de toma, la óptica y el tipo de cámara, se tiene diferentes resoluciones a escala de salida en este insumo (Tabla 6).

Tabla 6. Principales características de algunas cámaras aerotransportadas.

CÁMARAS AEROTRANSPORTADAS	
<b>CAMARA WILD RC-30</b>	Gran ángulo de campo y anchura de barrido (reduce número de pasadas), alta resolución y precisión, tanto de carácter geométrico como radiométrico, posibilidad de captura de imágenes multiespectrales y de imágenes estereoscópicas. Resolución de 80 píxeles/mm, formato 230x230 mm (18.400x18.400 píxeles).
<b>VEXCEL ULTRACAM</b>	Está conformada por 4 objetivos pancromáticos (B/N), compuesto cada uno por 11.500 x 7.500 píxeles; 4 objetivos matriciales multiespectrales (R, G, B, IR) de 4.000 x 2.672 píxeles. La focal de los objetivos es de 100 mm y la luminosidad de f: 1,56. Cada uno de los píxeles (fotodetectores) tiene un tamaño de 9x9 micras y la amplitud (ancho por largo) de su campo de visión (FOV) es de 55° x 37°.

A estas fotografías, por medio de un proceso estandarizado (realizado por la Dirección de Información Geográfica o por la Subdirección de Agrología) se les realizan procesos de correcciones geométricas específicas, obteniendo un set de aerofotografías orto rectificadas. En el proceso de interpretación geomorfológica, las fotografías aéreas se utilizan de las siguientes formas (Tabla 7).

Tabla 7. Modos de empleo de los insumos derivados de Fotografías aéreas.

No	INSUMOS DERIVADOS DE FOTOGRAFÍAS ÁEREAS
1	Pares estereoscópicos en formato análogo utilizando estereoscopio de espejos, de acuerdo con el Instructivo "Elaboración de cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos a partir de técnicas análogas".
2	Fotografías o imágenes orto rectificadas u ortofotos.
3	Modelos fotogramétricos digitales, utilizados de acuerdo al Instructivo "Elaboración de cartografía geomorfológica digital en 3D aplicada a levantamientos de suelos"
4	Foto mosaicos construidos durante los procesos de orto rectificación.

° Información temática de apoyo:

▪ **Geología:**

Las geoformas están condicionadas de manera substancial por las rocas sobre las cuales se desarrollan; por tal razón, la geología es un insumo fundamental en el proceso de interpretación geomorfológica. La principal fuente son las planchas a escala 1:100.000 y los mapas geológicos departamentales generados por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) con sus respectivas memorias técnicas, en las cuales se encuentran las características, composición, descripción de los materiales y dinámica de las formaciones geológicas. Las formaciones geológicas presentes en las planchas son referentes para la delimitación de materiales en la interpretación geomorfológica.

▪ **Mapas de suelos:**

Hace referencia a informes de suelos en el área de estudio (mapas, ráster o vector). Esta fuente permite apoyar algunas delimitaciones de unidades geomorfológicas y materiales litológicos, ya que la información de campo que soporta ese insumo ofrece elementos adicionales para la separación de unidades. Estos estudios generalmente se encuentran a escala 1:100.000 o escalas más grandes (1:50.000 o 1:25.000).

▪ **Mapas geomorfológicos:**

En algunos sectores del país se han realizado mapas producto de estudios geomorfológicos anteriores, que pueden servir como referencia o apoyo al proceso de interpretación. Los estudios geomorfológicos que dependen de su fuente u origen pueden diferir en cuanto a la clasificación de las geoformas, por lo que deben identificarse elementos geomorfológicos homólogos o compatibles a los consignados en el Formato "Leyenda de Interpretación Geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos" en su versión vigente.

° Organización de la información:

La información adquirida se organiza por grupos de capas (*GroupLayer*), permitiendo la visualización y sobreposición de los insumos de acuerdo con las necesidades del intérprete, además de facilitar el manejo del alto volumen de información empleada durante el proceso de interpretación geomorfológica (Tabla 8). A continuación, se sugiere un esquema para organizar la información (Imagen 2).

Tabla 8. Agrupaciones de insumos técnicos para el proceso de interpretación.

GRUPOS DE INSUMOS DE INTERPRETACIÓN	
INTERPRETACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>° Feature Class de interpretación</li> <li>° Interpretaciones asociadas o consolidadas en la zona.</li> <li>° Interpretaciones circundantes o adyacentes.</li> </ul>

GRUPOS DE INSUMOS DE INTERPRETACIÓN	
<b>CARTOGRAFÍA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Drenajes sencillos y dobles</li> <li>◦ Vías</li> <li>◦ Lagunas y lagos</li> </ul>
<b>IMÁGENES OPTICAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ RapidEye</li> <li>◦ Spot</li> <li>◦ Landsat</li> <li>◦ Sentinel 2</li> </ul>
<b>RADAR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ GeoSAR</li> <li>◦ TerraSAR X</li> <li>◦ Cosmo-SkyMed</li> </ul>
<b>RELIEVE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ DEM</li> <li>◦ Modelo de pendientes</li> <li>◦ Modelo de sombras</li> </ul>
<b>GEOLOGIA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Geología 1:100.000</li> <li>◦ Geología departamental</li> </ul>
<b>APOYO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Mapas de suelos</li> <li>◦ Interpretación de proyectos asociados</li> <li>◦ Grillas 1:25.000</li> <li>◦ Grillas 1:100.000</li> </ul>

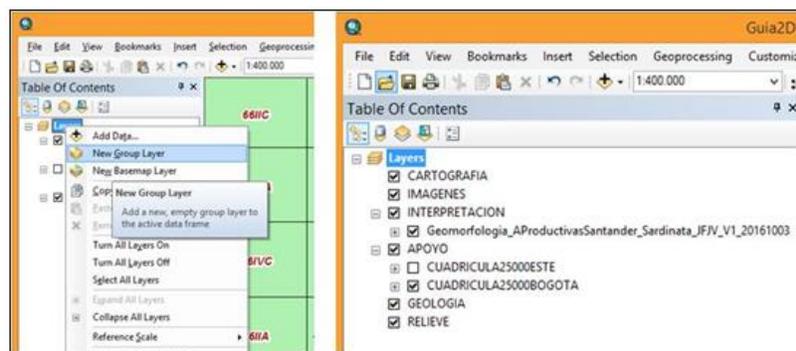


Imagen 2. Ejemplo de agrupación de capas de información correspondientes a los insumos técnicos, de acuerdo con la Tabla 8.

### 4.3. PASO A PASO

#### 4.3.1. PLANEACIÓN Y ASIGNACIÓN DE ÁREAS DE TRABAJO

Según las instrucciones impartidas por la Subdirección de Agrología se programan y delimitan las áreas de interpretación, generando los shapefiles o FeaturesClass respectivos para la asignación individual o correspondiente a cada intérprete. La asignación debe ser realizada por el funcionario que se designe para esta labor.

### 4.3.2. CONFIGURACIÓN DEL AMBIENTE DE TRABAJO

De acuerdo con la configuración de Software/Hardware disponible (Tabla 1), se debe priorizar las aplicaciones relacionadas con la interpretación: ArcMap, ArcCatalog, Excel (Leyenda de Interpretación) y Adobe Reader (Geología, Memorias Técnicas).

Después de obtener el área de interpretación o el polígono de asignación individual, se verifica el sistema de coordenadas correspondiente a los orígenes cartográficos oficiales vigentes (Imagen 3), de acuerdo con lo definido en el Instructivo "Elaboración de cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos".

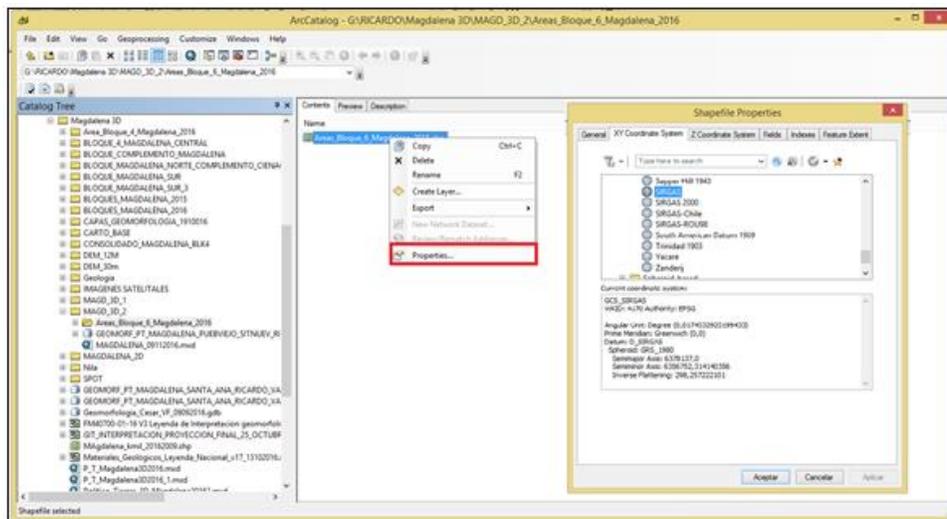


Imagen 3. Verificación del sistema de coordenadas del área de interpretación; ventana *Shapefile Properties*.

En el proceso de interpretación se hace uso de la extensión 3D Analyst que hace parte del software ArcGIS; esta extensión permite realizar perfiles topográficos a partir del modelo de elevación digital, entre otras funciones. Para activar esta extensión se abre ArcMap o ArcCatalog, y se selecciona el menú *Customize/Extensions/3D Analyst* (Imagen 4).

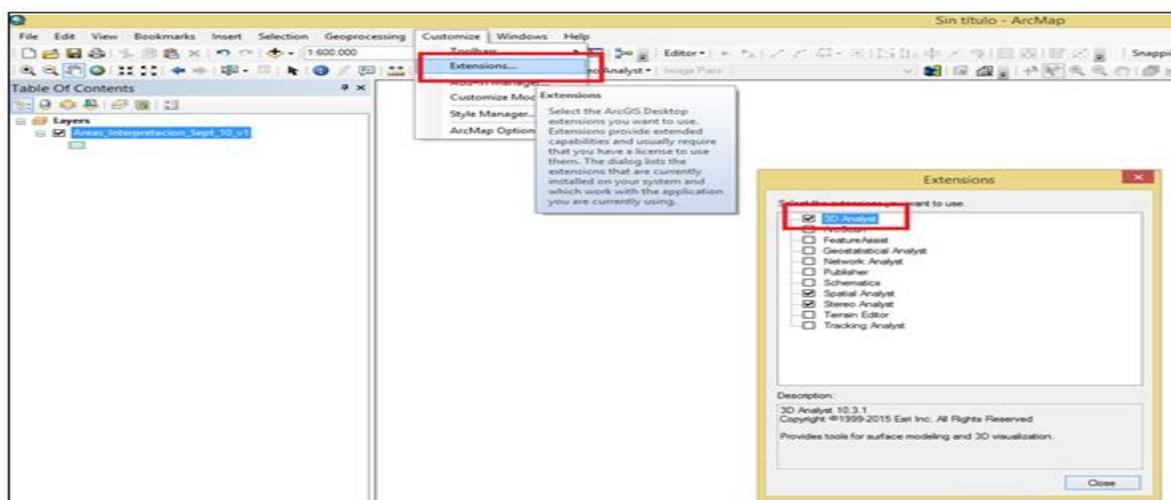


Imagen 4. Activación extensión 3D Analyst de ArcGIS.

Posteriormente se habilita la barra de herramientas de la extensión 3D Analyst en la interfaz de ArcMap, de acuerdo con la Imagen 5.

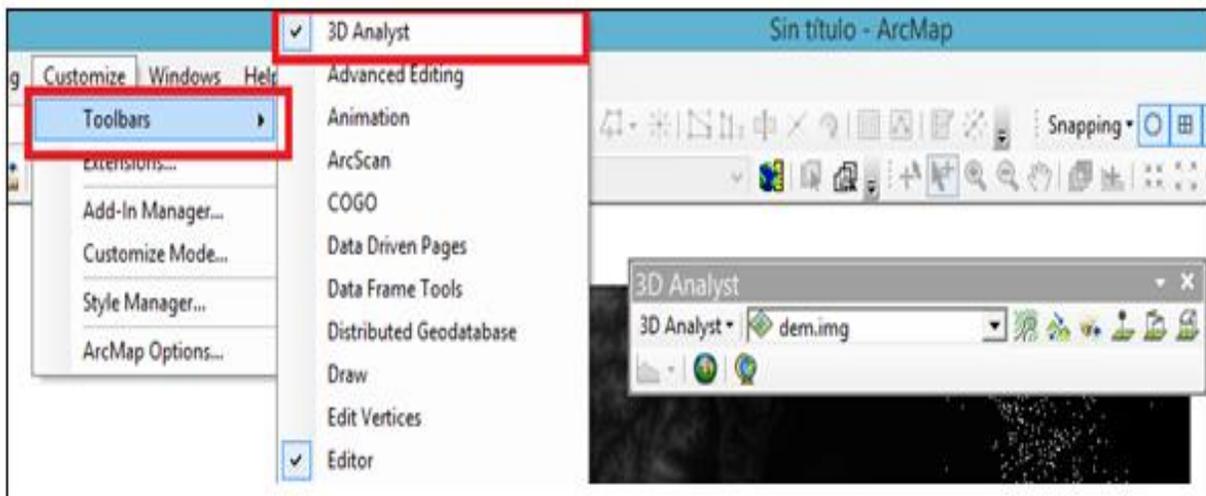


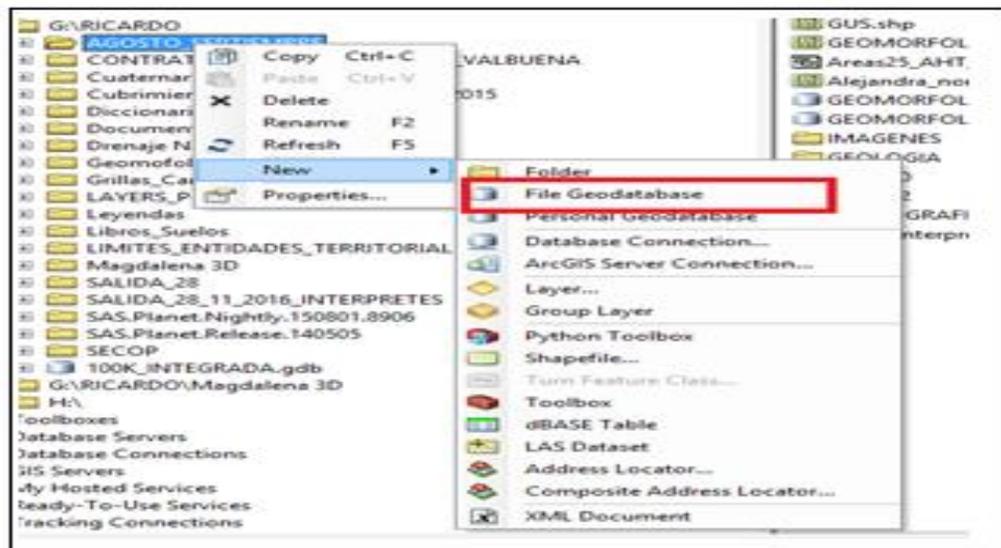
Imagen 5. Habilitación barra de herramientas 3D Analyst en ArcMap.

#### 4.3.3. ESTRUCTURACIÓN DE LA CAPA DE INTERPRETACIÓN GEOMORFOLÓGICA

Para la estructuración de la capa de interpretación geomorfológica se siguen los lineamientos determinados en el Instructivo "Elaboración de cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos", siguiendo los pasos explicados a continuación:

- Abrir ArcCatalog, se enruta la dirección de destino en la carpeta del Proyecto, hacer clic derecho y se crea un archivo File Geodatabase (extensión \*.gdb) (Imagen 6); el archivo geodatabase debe nombrarse de la siguiente manera:

“Temática\_Proyecto\_Escala.gdb”

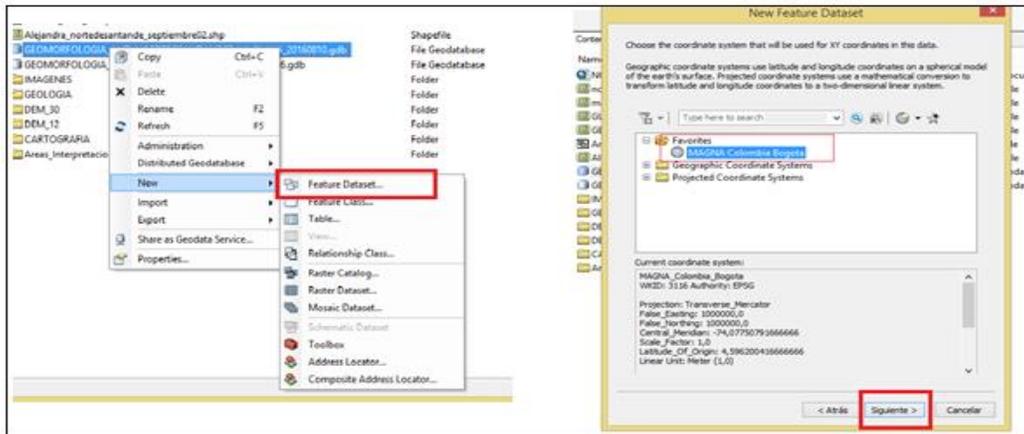


 GEO\_VALLE\_CAUCA\_25K.gdb

Imagen 6. Creación File Geodatabase y ejemplo de nombramiento de Geodatabase de la temática Geomorfología.

- Dar clic derecho sobre el archivo Geodatabase creado en el paso anterior; seleccione New/Feature Dataset; en la ventana emergente se asigna el nombre de la temática “GEOMORFOLOGÍA”. En este paso debe importarse el sistema de referencia con el cual se va a

elaborar la interpretación geomorfológica. Todos los Feature Class que sean importados o generados en el Feature Dataset tendrán el mismo sistema de coordenadas (Imagen 7).

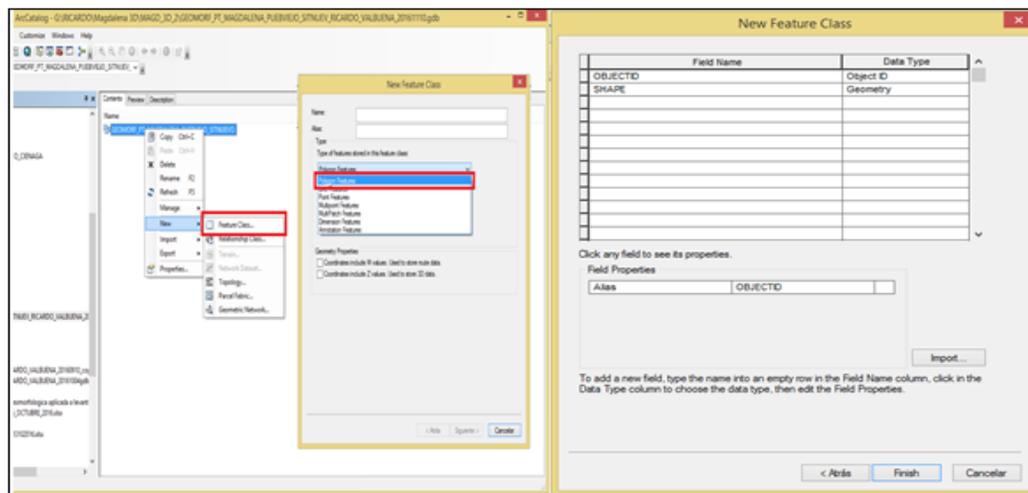


 GEO\_VALLE\_CAUCA\_25K.gdb  
 GEOMORFOLOGIA

Imagen 7. Creación y ejemplo de nombramiento de un Feature Dataset de la temática Geomorfología.

- Ejecutados los pasos anteriores, dar clic derecho en el Feature Dataset y seleccionar New/Feature Class; en el siguiente paso se deja por defecto la proyección en el eje Z, en el campo de Tipo de características (Type of features stored in this feature class) se selecciona rasgo tipo polígono (PolygonFeature) (Imagen 8) y se nombra de la siguiente manera:

"Temática\_Proyecto\_Escala\_Versión\_Fecha (AAAAMMDD)"



 GEO\_VALLE\_CAUCA\_25K\_VF\_20181211

Imagen 8. Creación y ejemplo de nombramiento de un Feature Class de la temática Geomorfología.

**Nota:** En la geodatabase de producción individual (o la que corresponde a un intérprete en particular) donde se realiza la captura inicial de la información geomorfológica a partir de un

área de asignación individual, deben agregarse las iniciales del nombre y apellidos (máximo 3 caracteres) del intérprete a la denominación de la Geodatabase y del Feature Class. Por ejemplo, la Geodatabase individual tendría la denominación "Temática\_Proyecto\_InicialesIntérprete\_Escala.gdb", y el feature class de captura "Temática\_Proyecto\_InicialesIntérprete\_Escala\_Versión\_Fecha (AAAAMMDD)".

Después de nombrar el Feature Class, aparece una ventana donde se exponen los campos que constituyen la tabla de atributos, los cuales deben crearse y editarse de acuerdo a lo indicado en el Instructivo "Elaboración de cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos"; a continuación, se presentan dos opciones para llevar a cabo esta tarea:

- **Construcción manual de campos:** Se abre ArcMap y en el visor debe habilitarse el Feature Class recién creado. Se acciona Clic derecho Open AttributeTable/Options/Add Field; en la ventana Add Field debe diligenciarse los campos bajo las especificaciones indicadas en la Tabla 6 del Instructivo "Elaboración de cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos" en cuanto a los tipos de campo y longitudes respectivas (Imagen 9). Se repite este proceso hasta completar el número de campos requerido.

Desde ArcCatalog también se puede realizar esta tarea; en el Feature Class de la temática Geomorfológica, dar doble clic y en la ficha Fields de la ventana Feature Class Properties se pueden crear los campos requeridos con sus longitudes específicas.

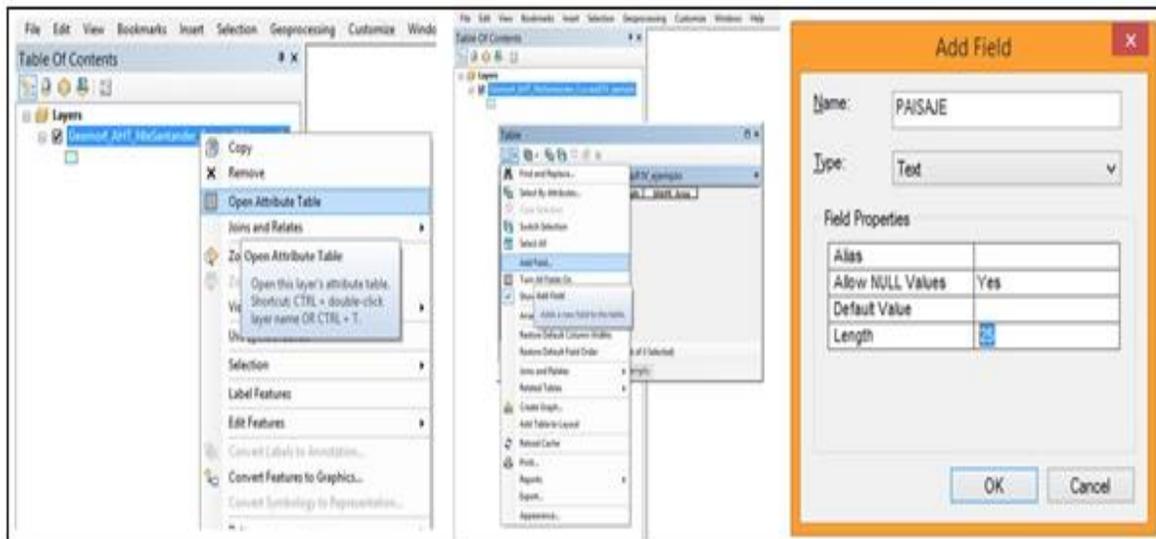


Imagen 9. Creación manual de campos sobre el Feature Class.

- **Importación de los campos desde un Feature Class existente:** Se importan los campos de otro Feature Class de interpretación geomorfológica que contenga los atributos completamente acordes al Instructivo "Elaboración de cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos"; este paso a paso se expone en la imagen 10, a través del botón Import, seleccionando el archivo Feature Class que contenga los atributos requeridos.

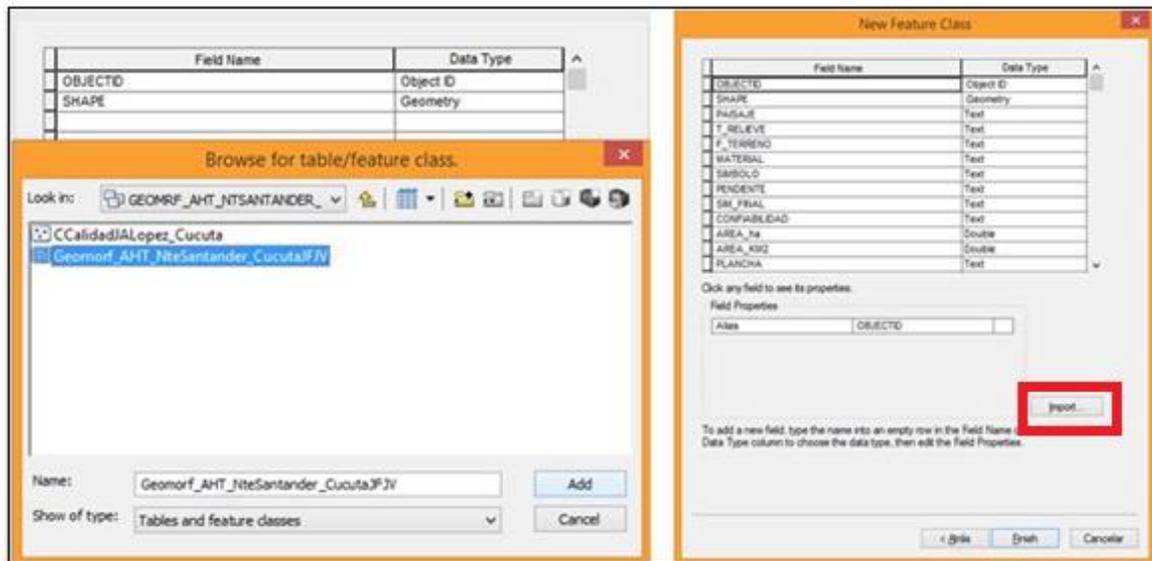


Imagen10. Importación de campos desde un Feature Class existente.

Luego de realizar los pasos anteriores, desde ArcCatalog o desde la Tabla de Contenido de ArcMap se ubica el Feature Class; se hace clic derecho/Load y se carga el polígono de asignación (Imagen 11a y b).

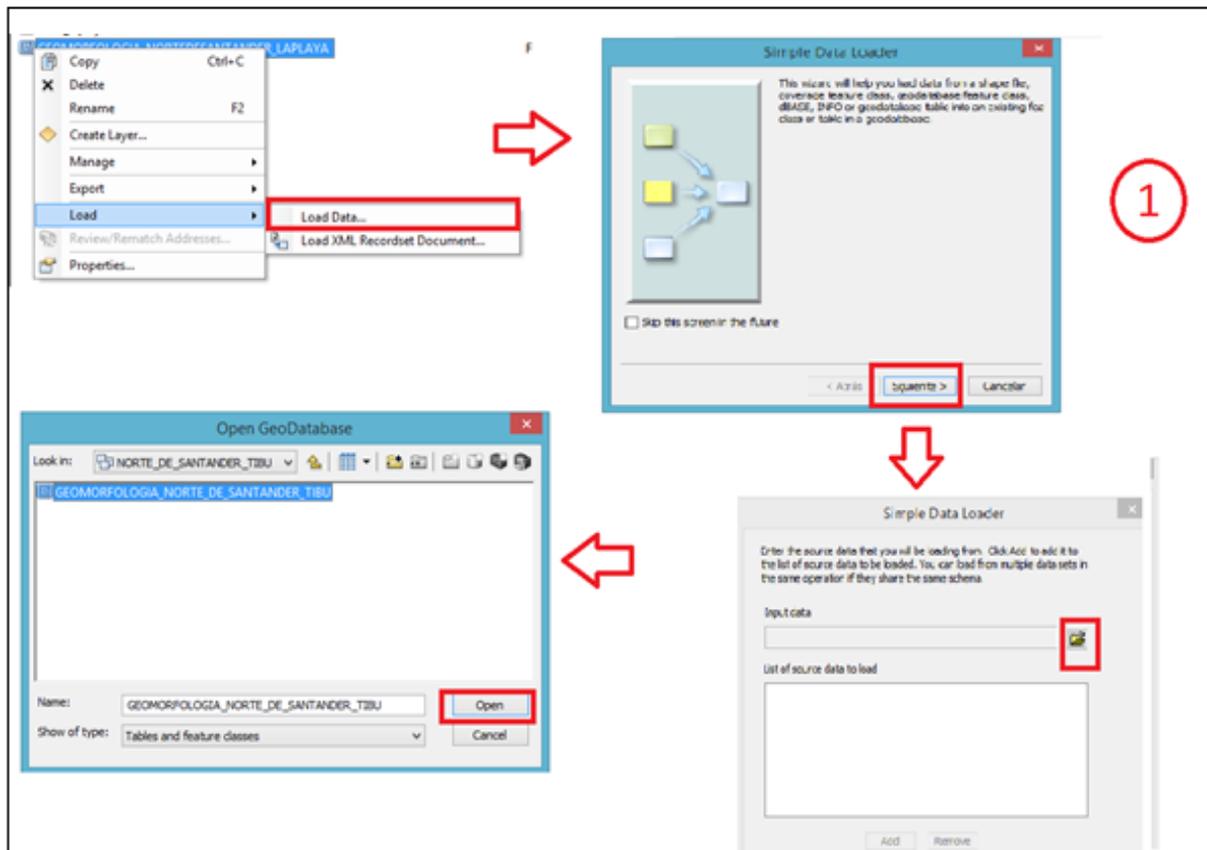


Imagen 11a. Secuencia para incluir el polígono de asignación en el Feature Class.

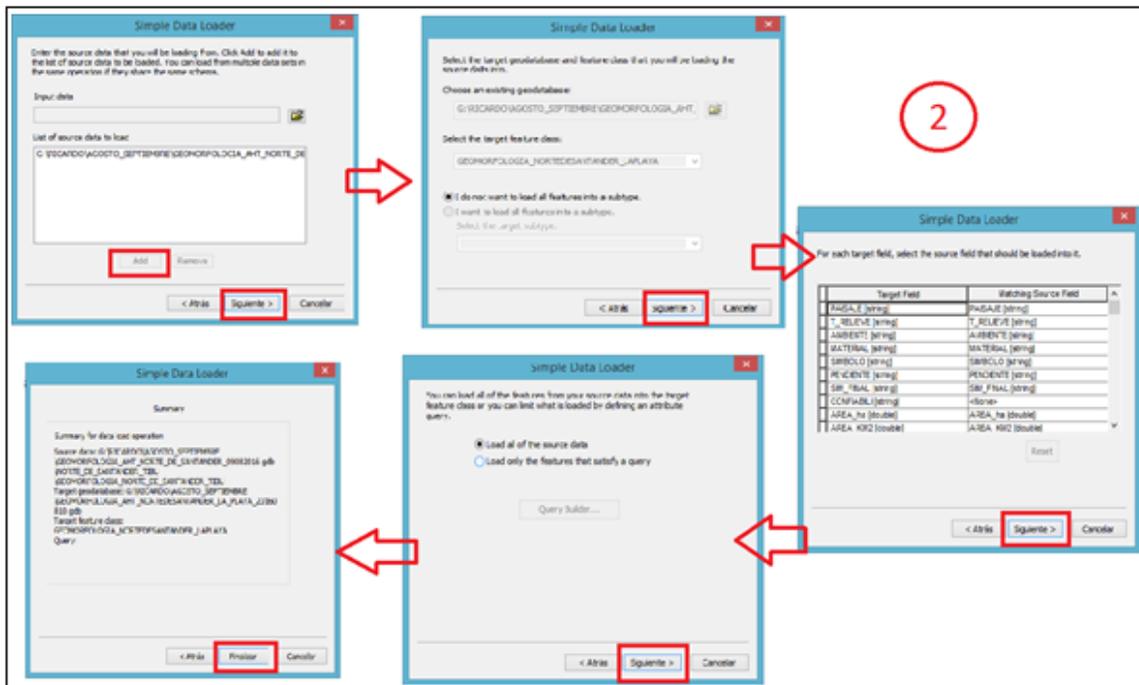
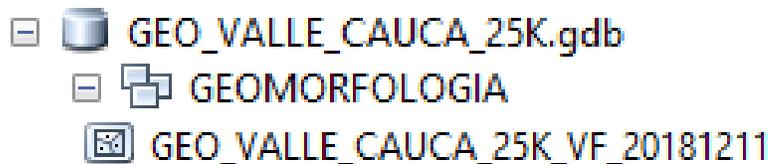


Imagen 11b. Secuencia para incluir el polígono de asignación en el Feature Class.

Terminado este proceso se debe visualizar en ArcCatalog una estructura similar al siguiente ejemplo:



Al abrir el Feature Class en ArcMap debe aparecer el polígono de asignación con los campos requeridos.

#### 4.3.4. GENERACIÓN DEL PROYECTO DE TRABAJO

Una vez se encuentra estructurado el Feature Class con los atributos de la tabla de atributos requeridos, se procede a estructurar el Proyecto de ArcMap (archivo extensión \*.mxd) en el cual se interpretará la geomorfología del área asignada.

Debe habilitarse un proyecto nuevo en ArcMap y se abre el Feature Class generado en el paso anterior; de esta forma el visor de ArcMap asimila el sistema de coordenadas del Feature Class. Si bien ArcMap realiza una proyección al vuelo cuando se adicionan capas al proyecto que posean diferentes sistemas de coordenadas, es preciso verificar que toda la información se encuentre en el mismo sistema de referencia o sistemas equivalentes (Imagen 12).

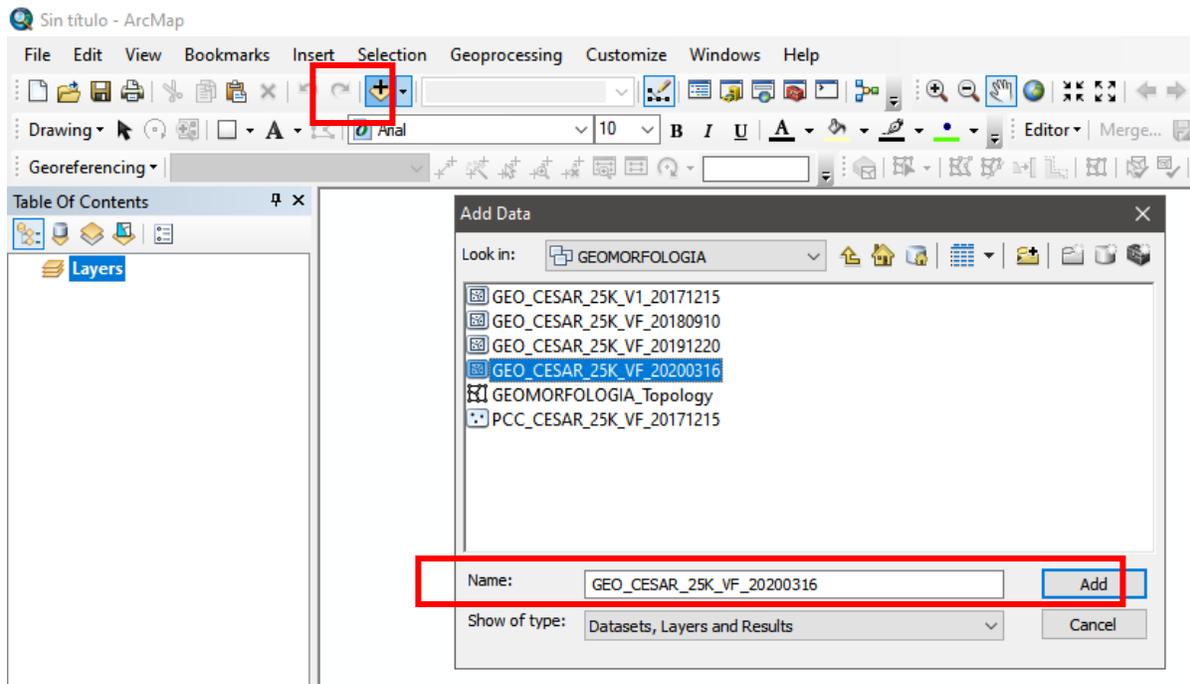


Imagen 12. Apertura de Feature Class de interpretación en un Proyecto de ArcMap (\*.mxd).

◦ Parámetros iniciales de edición:

En el proceso de interpretación se realiza una edición del polígono asignado que consta principalmente en el recorte o separación de porciones (unidades geomorfológicas) que contienen el Feature Class, además de la asignación de los atributos que caracterizan a cada porción o unidad geomorfológica interpretada. Para realizar este proceso, en la ventana Editing Options (ubicada en la barra de herramientas de Edición, menú Editor/Options) hay varias configuraciones sugeridas que permiten realizar el proceso con un margen de homogeneidad y comodidad, en el recorte y trazado de las unidades geomorfológicas (Imagen 13):

- **Tolerancia de movimiento (Stickymovetolerance):** hace referencia al valor de tolerancia en píxeles a partir del cual se efectúa el desplazamiento de un polígono o elemento seleccionado con el cursor de edición ; ArcMap trae por defecto un valor de 0 píxeles, ante lo cual se sugiere ajustar el parámetro a un valor alto (Ejemplo, 10.000 píxeles), o utilizar el cursor de selección de elementos ; si se utiliza la selección desde el cursor de edición  sin ajustar el parámetro de tolerancia de movimiento, es altamente probable el desplazamiento de polígonos generando errores topológicos por superposición o gaps (Imagen 13).
- **Tolerancia de modo a mano alzada (Streamtolerance):** se refiere a la densidad de puntos en un trazo cuando se está realizando una delineación a mano alzada (trazo o dibujo continuo de una línea), cuyo modo se activa con la tecla F8. Es decir, que cuando se está dibujando y está activado el modo de delineación a mano alzada, a cierto valor de unidades del mapa aparece automáticamente un nodo o vértice.

Este valor debe ajustarse de acuerdo con la escala de interpretación o de detalle que se requiera y a la experiencia del intérprete. Si el valor del parámetro es alto, los trazos tienden a ser muy rectos por la mayor separación existente entre nodos o vértices; si por el contrario este valor

es bajo, al realizar la delineación de manera rápida y fluida se pueden generar trazos aserrados debido a la baja separación entre los nodos o vértices (Imagen 13).

- **Agrupar (Group):** Mientras se está dibujando una línea o recorte es posible que haya algunos vértices que no se ajusten de manera adecuada, por lo que debe deshacerse el trazo realizado erróneamente (con la combinación del teclado Ctrl +Z); el parámetro Group indica cuántos nodos o vértices se borrarán al momento de deshacer los vértices trazados.

Por ejemplo, si el intérprete realiza un recorte o delimitación (sin terminar) que lleva 100 vértices y debe ajustar los últimos 10, es preferible tener una agrupación que oscile en 10 vértices a que el parámetro sea de 100 vértices, ya que bajo la última agrupación el intérprete debería rehacer todo el trazo. De lo anterior se infiere que, cuanto mayor sea el número de vértices a agrupar la cantidad de vértices que se eliminan y deberían redibujarse será mayor (Imagen 13).

En la ventana Editing Options se pueden configurar otras opciones, como la simbología del trazo de edición (color de vértices de línea, selección, etc.) si se busca un contraste específico en el trazado; usar modo snapping clásico (usado por ArcGIS 9.x), habilitación de barras de herramientas de edición adicionales, entre otras funciones (Imagen 13).

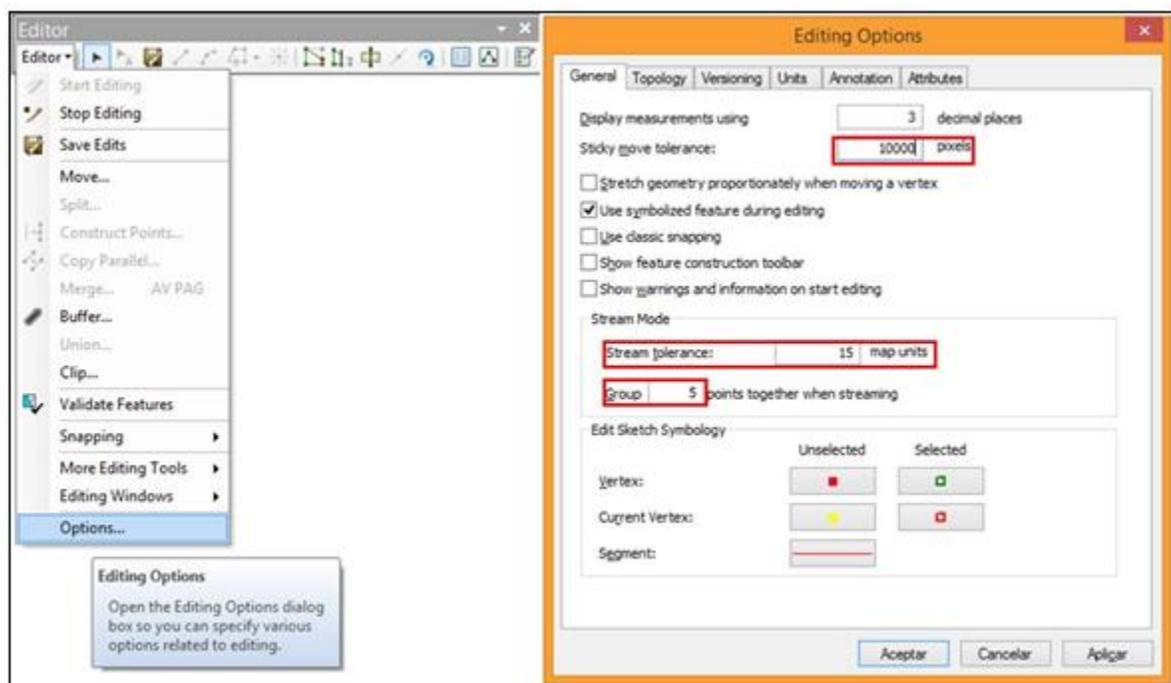


Imagen 13. Opciones de edición y parámetros más utilizados.

#### 4.3.5. PROCESO DE INTERPRETACIÓN

Teniendo la capa de asignación preparada para editar y los insumos necesarios dentro del proyecto de trabajo de ArcMap (\*.mxd) se procede a interpretar. El trazado de las unidades geomorfológicas en el proceso de interpretación es el producto de evidencias convergentes del conocimiento geomorfológico, derivado de los diferentes insumos utilizados durante el proceso.

Los atributos de la capa de interpretación deben diligenciarse durante el trazado de las unidades geomorfológicas, teniendo en cuenta la información contenida en el Formato "Leyenda de interpretación geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos".

#### 4.3.5.1. TÉCNICAS DE VISUALIZACIÓN

##### ◦ Modelo de sombras:

Es un producto derivado del Modelo de Elevación Digital (DEM); el modelo de sombras genera una imagen de vista del relieve en tonos de gris y en sombras. En algunos casos los valores de azimuth y altura predefinidos no brindan un contraste en áreas de poca elevación topográfica o cuando se encuentran límites de unidades en la sombra del modelo. Por lo anterior, es posible generar un modelo de sombras alternativo en el cual se modifican los parámetros (altura y azimuth), con el fin de facilitar el contraste o la identificación de límites en las geformas (Imagen 14).

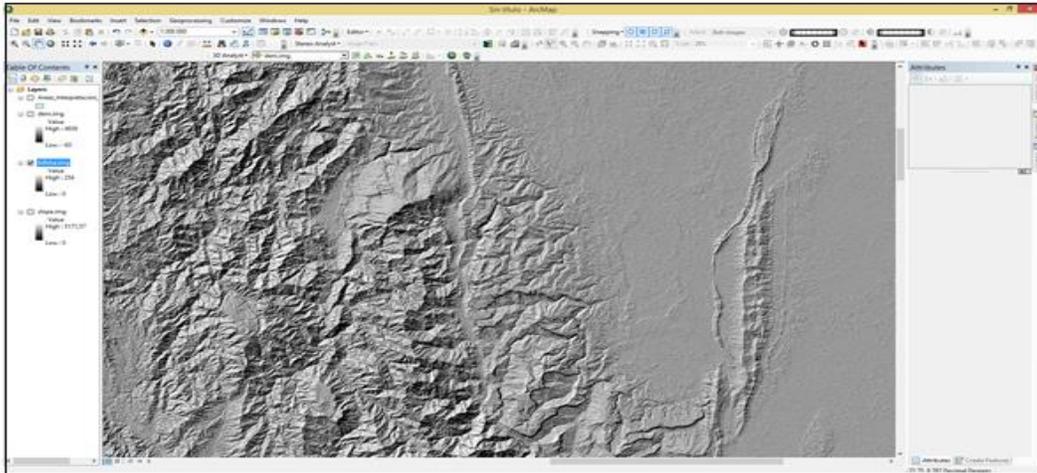


Figura 14. Visualización modelo de sombras.

##### ◦ Modelo de pendientes:

Es un producto derivado del Modelo de Elevación Digital (DEM); el modelo de pendientes permite visualizar el valor de la pendiente calculada a partir del porcentaje de elevación del terreno; se utiliza la clasificación por porcentaje de pendiente adoptada por la Subdirección de Agrología (Imagen 15).

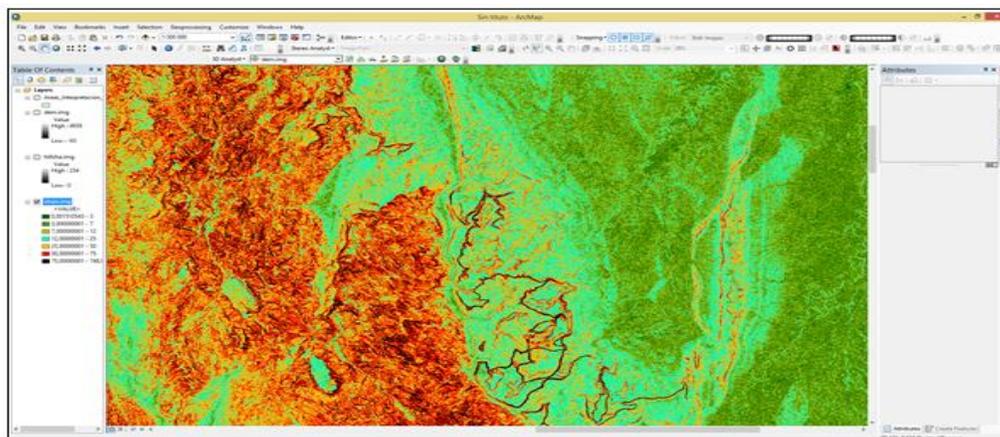


Imagen 15. Visualización modelo de pendientes por clases en porcentaje.

##### ◦ Imágenes de Radar:

Usando la imagen de retrodispersión (*Backscatter*) proveniente del sensor radar y de acuerdo con los productos asociados (DEM, modelo de pendientes, sombras), se puede generar una composición de una imagen con cuatro bandas utilizando la herramienta Composición de bandas o *Composite bands*, ubicada en *ArcToolbox/Data Management Tools/Raster/Raster Processing/Composite Bands* (Imagen 16).

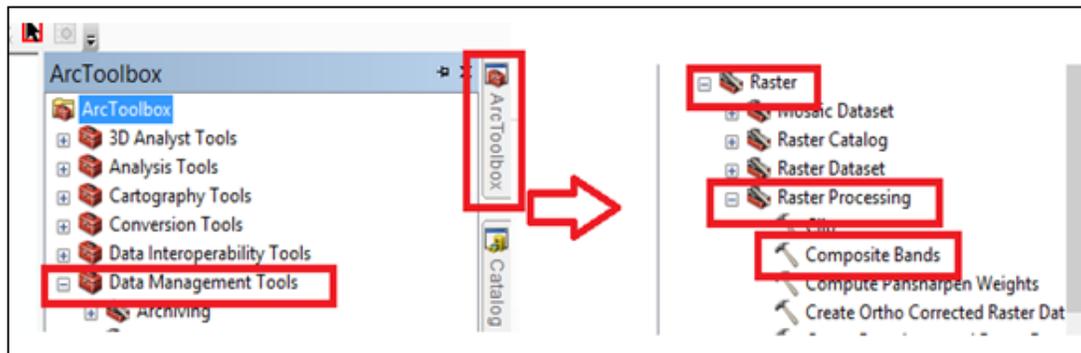


Imagen 16. Generación composición de una imagen (Herramienta *Composite Bands*).

Esta sinergia permite resaltar algunas geoformas en zonas planas, con bajo contraste en el relieve o con ruidos derivados de la vegetación o asociados al insumo (Imagen 7).

El radar puede atravesar la cobertura nubosa, y de acuerdo con ciertas longitudes de onda el dosel de vegetación. Esto es relevante si tenemos en cuenta que, en áreas de alta precipitación, la cobertura de nubes es marcada y las imágenes ópticas tienen limitaciones por esta particularidad. Por lo anterior, los insumos derivados de este sensor aportan información valiosa al momento de delimitar algunas unidades geomorfológicas (Imagen 17).

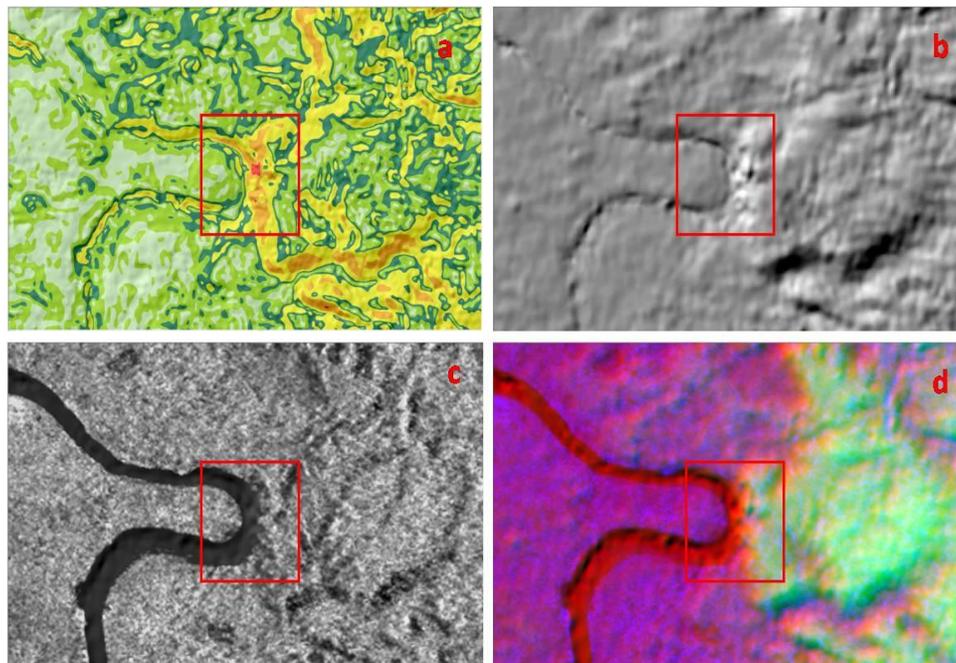


Figura 17. Insumos derivados de una imagen de radar GeoSAR banda P: a) modelo de pendientes b) modelo de sombras c) imagen de retrodispersión (*Backscatter*) d) Sinergia de imágenes (Sombras - DEM - Retrodispersión).

Al emitir una señal el radar registra la retrodispersión (*Backscatter*) y superficies como cuerpos de agua, reciben la señal, pero no retornan al sensor, por lo que estas zonas se ven en tonos oscuros. Por otro lado, bandas con longitudes de onda menores (P. ej. Banda X), permiten identificar otros elementos de actividad fluvial como sedimentos (Imagen 18).

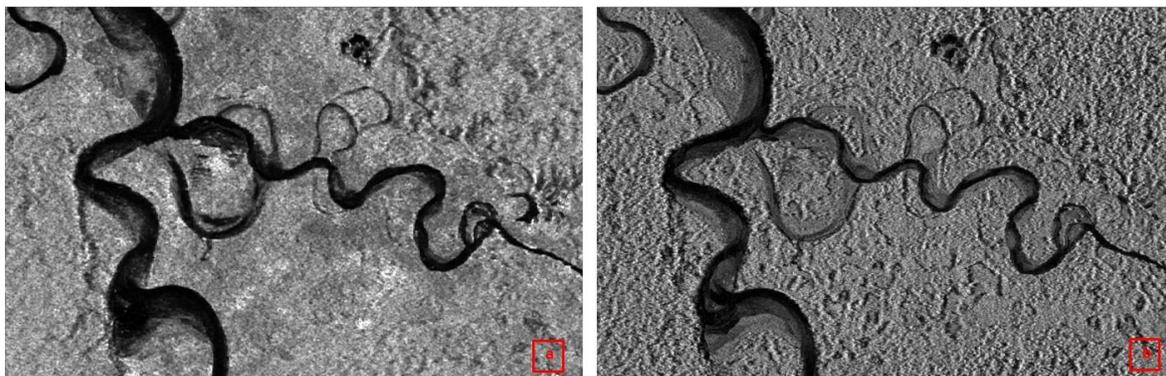


Imagen 18. Ejemplos de imagen de retrodispersión del radar GeoSAR. a) Banda P: resalta las áreas con dominancia de agua (meandros abandonados); b) Banda X: resalta depósitos fluviales, perfila meandros y las áreas boscosas en los bordes del cauce fluvial.

También se pueden realizar composiciones con insumos de radar de diferente longitud de onda (X y P); sin embargo, hay que considerar el origen de cada una de esas "bandas" ya que no tienen la misma resolución espacial, y la imagen resultado es un "promedio" de las mismas; por lo anterior, es relevante identificar o dar un nombre al archivo de salida que mencione el orden en el cual se realizó la composición de la sinergia y de esta manera realizar combinaciones de acuerdo al orden de las capas.

Con este insumo, áreas estructurales (frecuentemente asociadas a presencia de rocas sedimentarias) muestran un contraste marcado en las divisorias, facilitando la delimitación entre geoformas como frentes y reverses cuando el modelo de pendientes o el de sombras no muestran un contraste claro. Se aclara que acuerdo a la banda utilizada (X o P) y el grado de inclinación en el cual se tomó la imagen las líneas divisorias pueden aparecer desplazadas, situación que puede corroborarse con imágenes ópticas o el modelo de sombras.

° Imágenes ópticas:

Las imágenes ópticas suministradas por la Subdirección de Agrología o por la Dirección de Información Geográfica provienen de diferentes sensores (Landsat 8, RapidEye, Spot5, SENTINEL-2) y cámaras aerotransportadas. Las imágenes de satélite capturan los elementos de la superficie terrestre en diferentes bandas espectrales; al combinar los valores de las bandas espectrales se puede visualizar tanto los elementos como algunas características que permiten diferenciarlos o clasificarlos (cuerpos de agua, nieve, nubes, suelo descubierto, cultivos, vegetación, zonas urbanas, patrones de drenaje, relieve). En síntesis, las combinaciones de bandas permiten diferenciar rasgos que facilitan realizar la interpretación geomorfológica.

Para generar mayores niveles de contraste en las imágenes se tienen varias herramientas. Para acceder a este menú, se da clic derecho sobre el archivo imagen/*Properties/Symbology* (Imagen19).

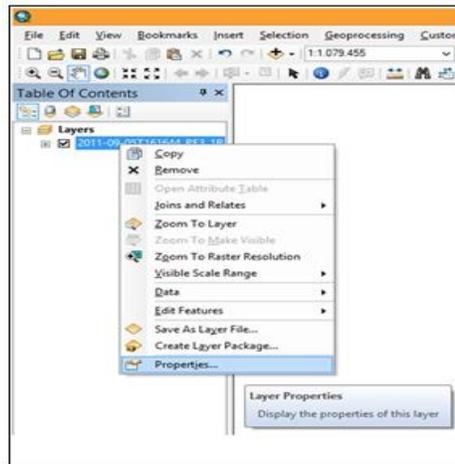


Imagen 19. Propiedades de imagen

Aparece una ventana en la cual se seleccionan los principales parámetros de la imagen al momento de la visualización (Imagen 20).

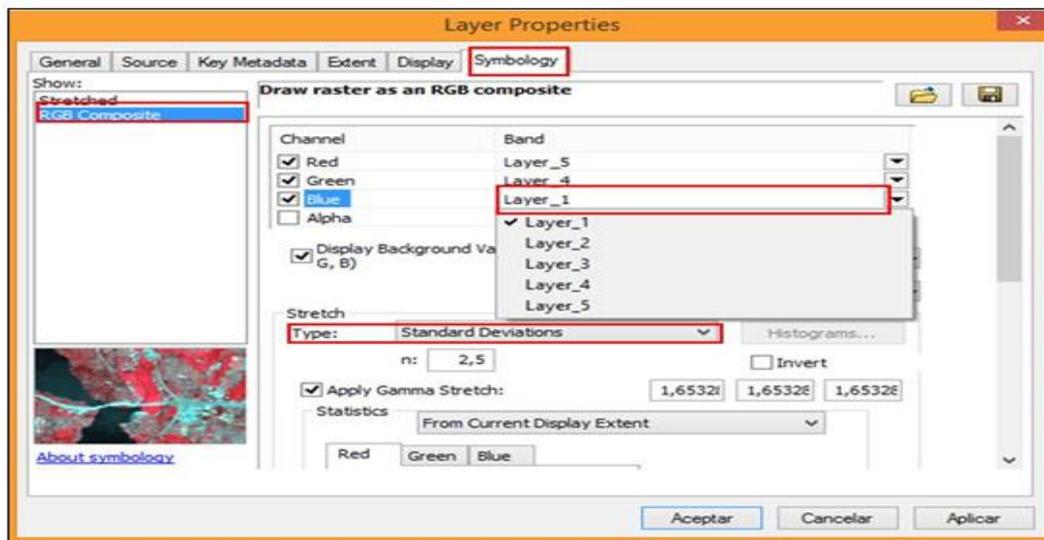


Imagen 20. Ventana Propiedades de la imagen.

- a) **Combinación de Bandas (RGB Composite):** Al seleccionar *RGB Composite*, se puede elegir la banda y el canal en el cual se desea ubicar (Imagen 20). De acuerdo con las características del sensor fuente de la imagen, al orden en el cual se hizo la composición de la imagen y a la resolución espectral de la misma, se pueden generar variadas combinaciones en los canales RGB (Red, Green, Blue).

Por ejemplo, si se ubica la banda del infrarrojo (reconocida en varios sensores por registrar la actividad fotosintética) en el canal Rojo, la vegetación aparecerá con tonos rojizos, y si se selecciona la banda de longitudes de onda cortas o asociadas con cuerpos de agua en el canal Azul, se resaltan los cursos de agua o zonas con presencia de humedad en tonos azulados.

- b) **Ajuste redistribución de valores de las imágenes (Stretch):** Una imagen es una matriz regularmente distribuida de píxeles, cada uno de los cuales posee valores de acuerdo con la información registrada en el sensor (o valores radiométricos). Esta información puede

consolidarse en un Histograma, el cual muestra la distribución de frecuencias de pixeles según sus valores. De acuerdo con el tipo de análisis estadístico o muestreo que se le aplique a este histograma, se generarán variados contrastes en el despliegue de la imagen. Esta herramienta permite resaltar rasgos que no son distinguibles con los valores por defecto que visualiza ArcMap.

Cuando se tienen áreas con bajo contraste en la imagen se puede seleccionar entre varios métodos de *stretch* o redistribución de valores de píxel (por desviaciones estándar, cortes de percentiles, ecualización de histograma, o valores máximos y mínimos); en Estadísticas (*Statistics*) se selecciona el conjunto de pixeles que se tendrán en cuenta para este método. Seleccionando *From Current Display Extent*, por ejemplo, entre más pequeño sea el grupo de pixeles (o la escala de visualización sea mayor), el contraste será mayor (Imagen 21).

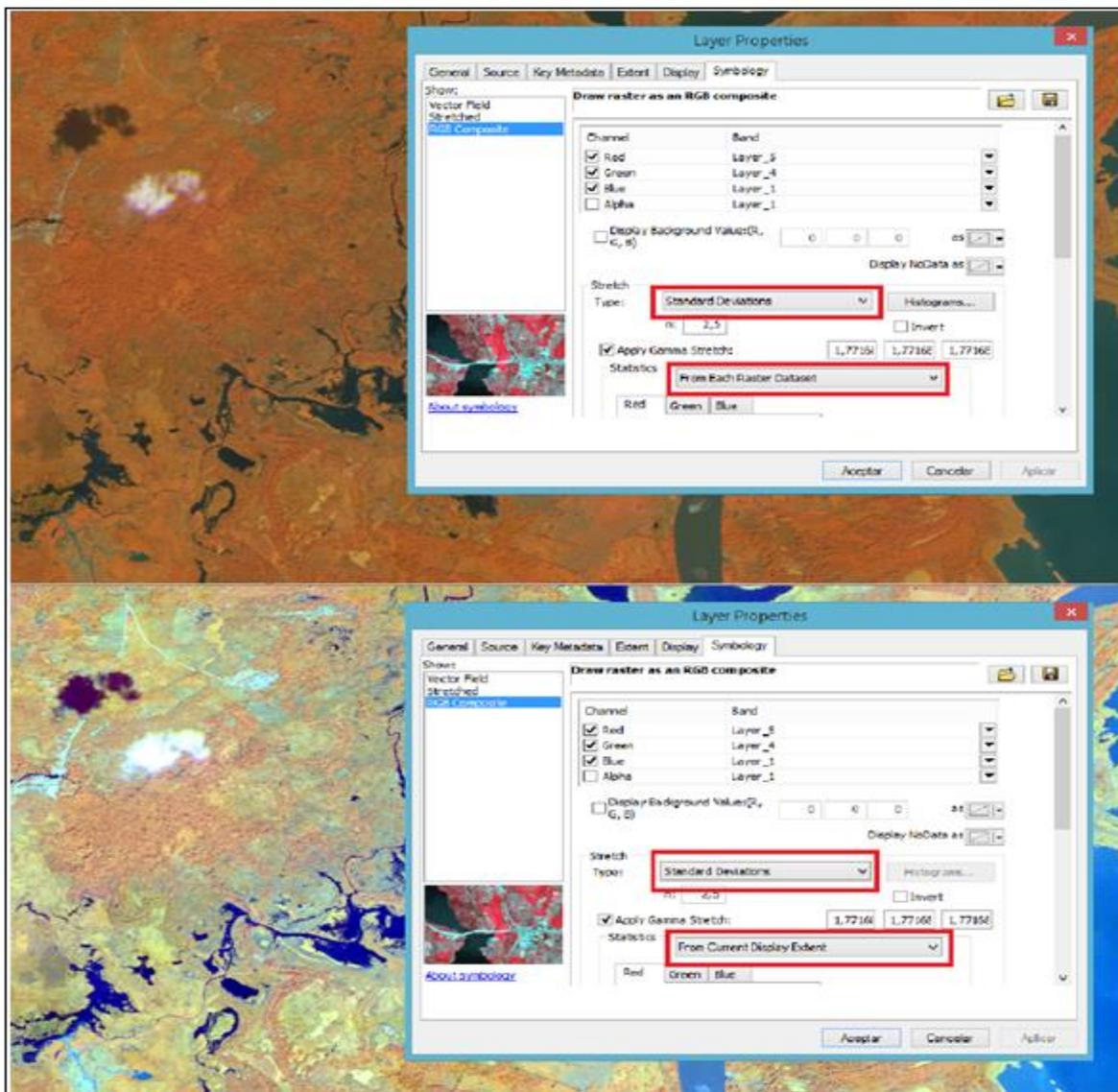


Imagen 21. Imagen Rapideye. Ejemplo de ajuste de *stretch* con método de desviaciones estándar; en la parte superior está calculado para toda la imagen, en la parte inferior para la vista del mapa actual (*Current Extent*).

Para mejorar la calidad visual de las imágenes ópticas se sugiere ajustar la visualización con una redistribución o *stretch* bajo el método de desviaciones estándar (*Standard Deviations*), además de ajustar las estadísticas para el despliegue presente en la vista del mapa actual (*Current Extent*). En zonas con nubosidad y de acuerdo con el zoom que se aplique, el método de corte de percentiles o *Percent Clip* puede ayudar a generar contraste en la imagen, ofreciendo una mejor visualización (Imagen 22).

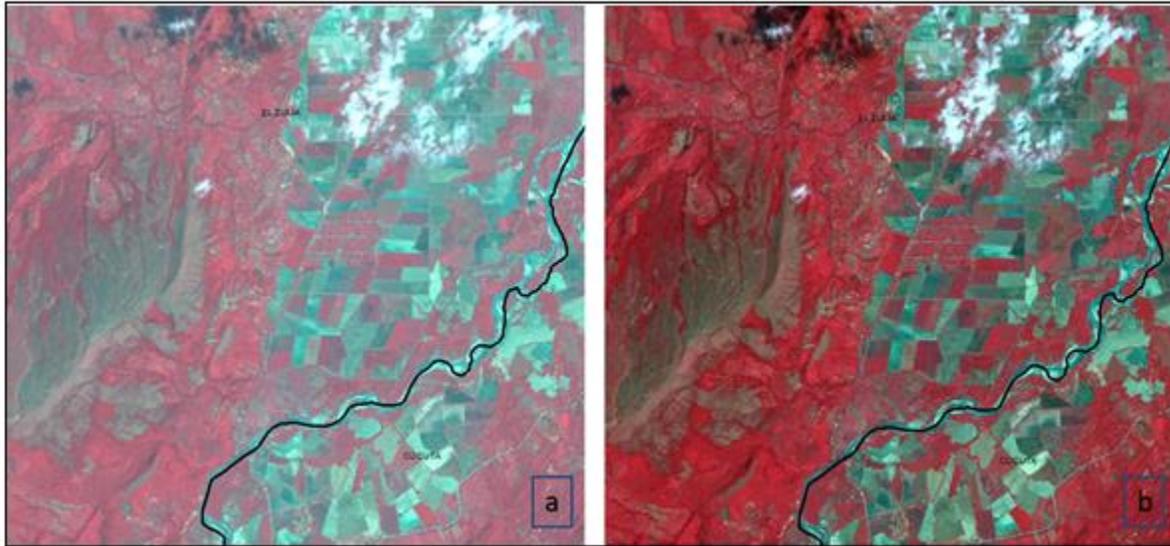


Imagen 22. a) *Stretch* con método *Standard Deviations* b) *Stretch* con método *Percent Clip*. De acuerdo con la escala de visualización, en sectores con nubes, el método *Percent Clip* ofrece mayor contraste que el método *standard deviation*.

◦ Fotografías análogas:

Las fotografías aéreas permiten identificar elementos que en ocasiones no se pueden apreciar con otros insumos; el uso de un estereoscopio de espejos nos permite tener una visión estereoscópica de la superficie de la tierra a una mayor escala, permite tener más detalle e identificar elementos para despejar dudas de límites de las geofomas. Para el proceso de interpretación con este método, consultar el Instructivo "Elaboración de cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos a partir de técnicas análogas".

◦ Perfiles topográficos:

Una de las herramientas más utilizadas en la interpretación geomorfológica digital es la generación de perfiles topográficos. Con esta herramienta se pueden apreciar variaciones de altura estimadas a partir del DEM en un sector seleccionado. Para realizar los perfiles topográficos, debe activarse la barra de herramientas 3D Analyst (Imagen 23) en el menú *Customize/Toolbars/3D Analyst* (Imagen 5).



Imagen 23. Barra de herramientas 3D Analyst y selección del DEM para realizar el perfil de elevación.

En el menú desplegable de la barra de herramientas 3D Analyst debe seleccionarse el DEM a partir del cual quiere realizarse el perfil; seleccione el ícono  (*Interpolate line*), trace una línea sobre el DEM y seleccione el botón  (*Profilegraph*) para visualizar el perfil topográfico generado. La gráfica debe

ajustarse a la misma longitud del perfil trazado, con el fin de facilitar la identificación de variaciones topográficas en el DEM que corresponda al área de interpretación (Imagen 24).

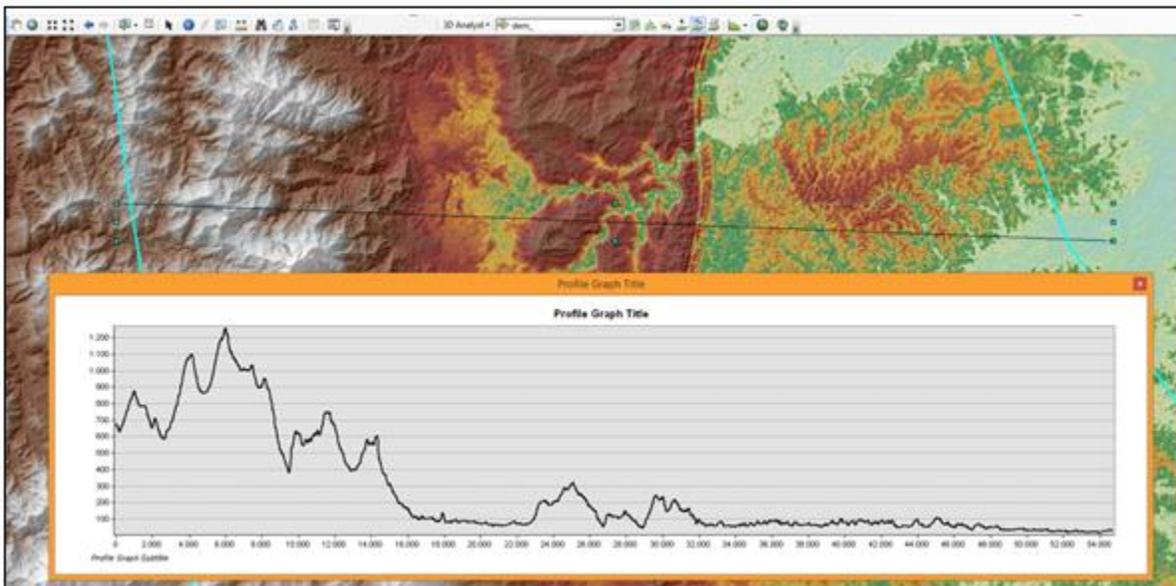


Figura 24. Perfil topográfico y ajuste del gráfico generado según la línea trazada con *Interpolate line*.

° Efectos visuales:

La barra de herramientas Efectos se activa en el menú *Customize/Toolbars/Effects* (Imagen 25).

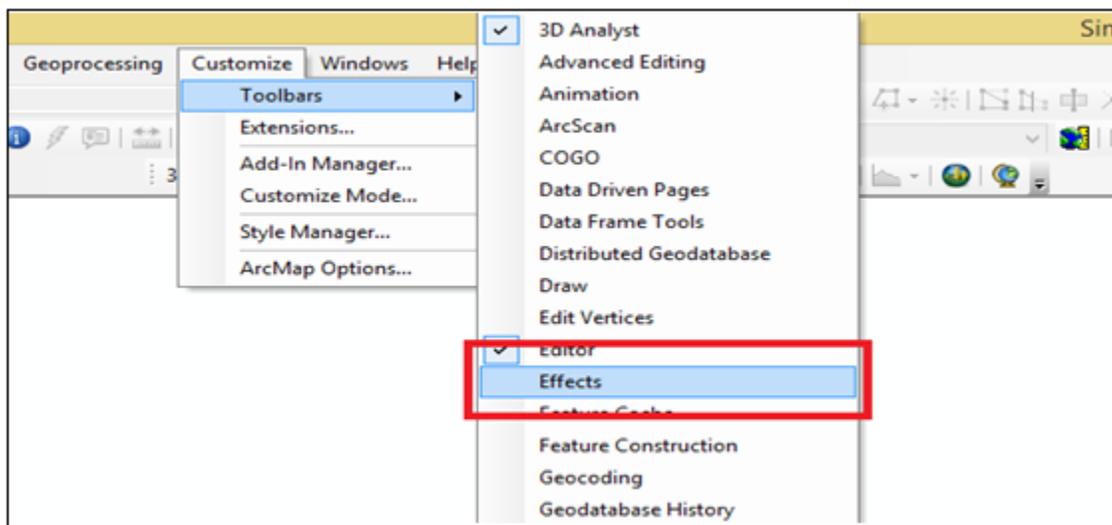
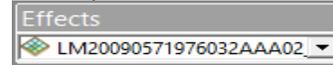


Imagen 25. Barra de herramientas Efectos (*Effects*).

Esta barra permite hacer algunos efectos visuales o realces básicos a una capa previamente seleccionada; como por ejemplo ajustes de Contraste , brillo , realizar o ajustar transparencias , creación de efecto cortina (*Swipe*)  o efecto temporizador  2000 . Estas opciones permiten ver una capa sobre otra de acuerdo con las necesidades puntuales del intérprete. A pesar de que algunos realces o efectos como el brillo, el contraste y la transparencia se pueden ajustar desde las

propiedades de cada una de las capas, con esta barra de herramientas puede realizarse la misma operación, seleccionando la capa objetivo en el menú desplegable.



El efecto cortina o *Swipe*  oculta o muestra una capa conforme se hace clic izquierdo en el mouse y se desliza. Es particularmente útil cuando se desea comparar dos capas a lo largo de un sector, sin necesidad de activar o desactivar la capa que se sobrepone.

El Temporizador  2000  activa y desactiva una capa de forma intermitente por un lapso de tiempo (en segundos) ajustable. Esta herramienta evita la activación o desactivación rápida de las capas por medio del mouse cuando se está verificando alguna correlación entre insumos; la intermitencia configurada en el Temporizador se mantiene mientras no sea desplazada la ventana de visualización.

◦ Etiquetado (Labeling):

La barra de herramientas de Etiquetado se activa en el menú *Customize/Toolbars/Labeling* (Imagen 26).

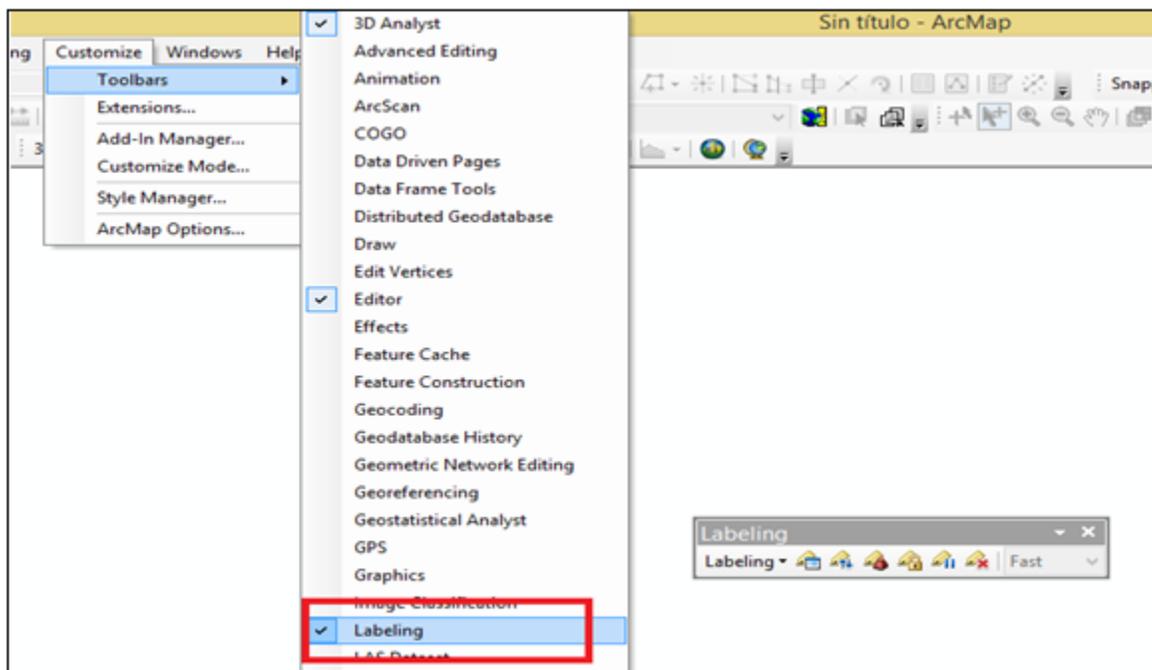


Imagen 26. Activación y aspecto barra de herramientas de Etiquetado (Labeling).

Durante el proceso de interpretación al separar diversas unidades geomorfológicas debe asignarse un símbolo y/o atributo específico, el cual se puede ver en pantalla activando las etiquetas (clic derecho del mouse sobre la capa de interpretación/*Properties/Labels/Labelfield*) (Imagen 27).

Esta herramienta ayuda a identificar cuáles son los polígonos ya delimitados, además de permitir la identificación de polígonos que tengan símbolo faltante o no se han interpretado. Además, al realizar el proceso de empalmes, esta herramienta ayuda a verificar que los símbolos finales de cada una de las interpretaciones colindantes guarden perfecta concordancia.

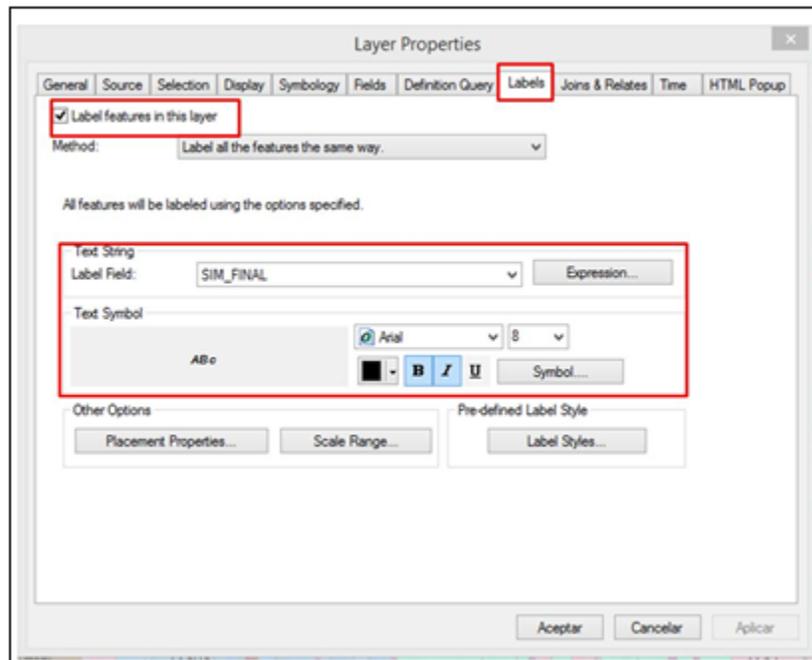


Imagen 27. Visualización de etiquetas (*labels*) desde la ventana Propiedades de una capa vector. En esta ventana puede seleccionarse el campo y el tipo de texto de la etiqueta.

La visualización de etiquetas se puede simplificar usando la barra de herramientas Etiquetado (*Labeling*); con la herramienta Label Manager  (Imagen 28), se puede gestionar las etiquetas de todas las capas vectoriales presentes en el proyecto de ArcMap sin abrir uno a uno los archivos.

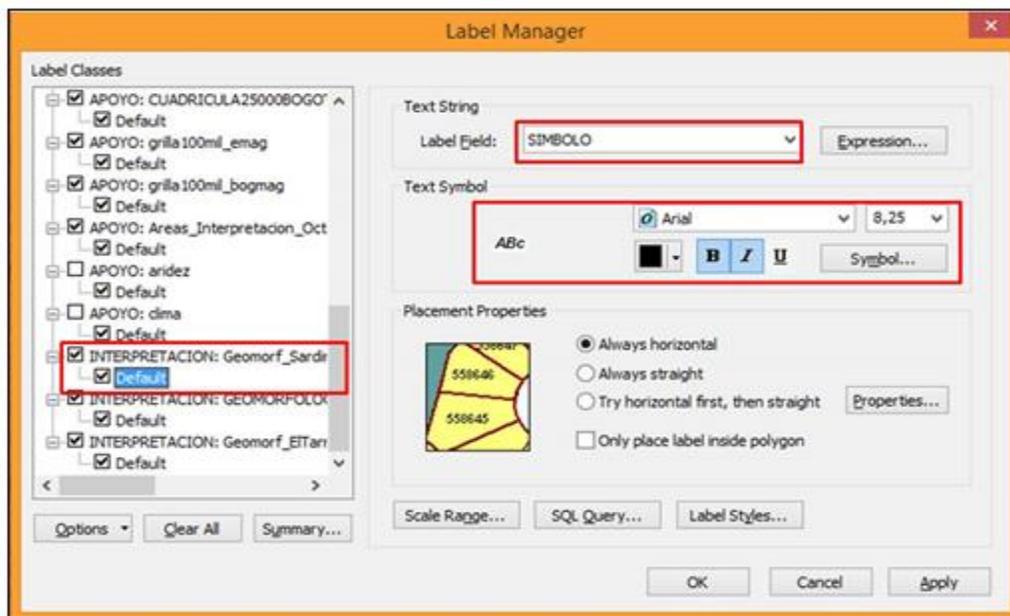


Imagen 28. *Label Manager* (barra de herramientas *Labeling*). En esta ventana se pueden habilitar y configurar las etiquetas de la capa de interpretación; también permite la manipulación de etiquetas de otras capas vectoriales.

Con la opción *LabelPriority Ranking*  se puede establecer una jerarquía en las etiquetas; esta opción es relevante si se están generando salidas gráficas preliminares. Por ejemplo, las etiquetas de

drenajes podrían ocultar símbolos de interpretación geomorfológica; por lo anterior, se puede asignar máxima prioridad a las etiquetas de interpretación sobre las demás capas.

Con la opción  (*LabelWeight Ranking*) de acuerdo con el tamaño de la ventana de visualización (*Extent*) se permite asignar pesos a las etiquetas; si existe superposición, esta herramienta asigna un peso apropiado para la visualización (alto, medio, bajo, ninguno). El botón *Pause Labeling*  pausa la visualización de todas las etiquetas de las capas vectoriales que estén activadas; tiene utilidad cuando se requiere visualizar los trazos o unidades marcadas y las etiquetas no lo permiten.

#### 4.3.5.2. Técnicas de edición

##### ° Barra de herramientas de Edición (*Editor*)

El Feature Class es un archivo vectorial en el cual queda plasmada la interpretación; para poder modificar este archivo a lo largo del proceso se requiere hacer procesos recurrentes de edición, por lo que es necesario activar la barra de herramientas de edición en el menú *ArcMap/Customize/Toolbars/Editor* (Imagen 29).

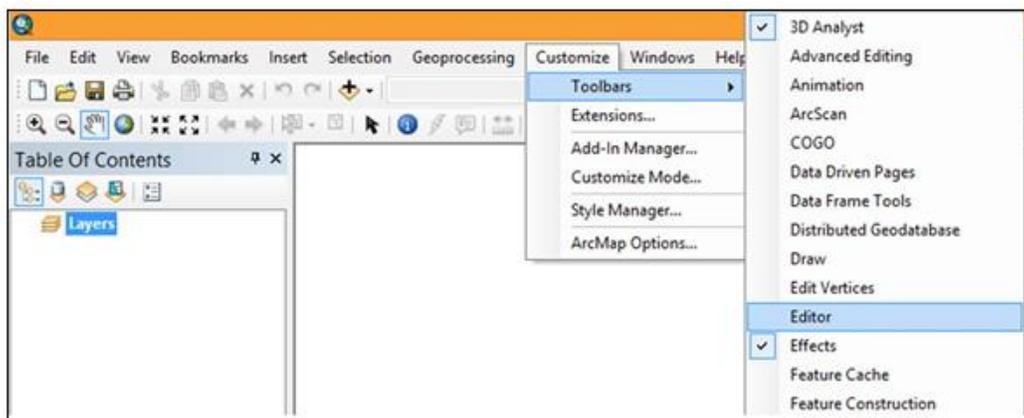


Imagen 29. Activación de la barra de herramientas de Edición (*Editor*).

En la Figura 30 se aprecia la barra de herramientas de edición recién activada, junto con algunas de las herramientas más utilizadas.

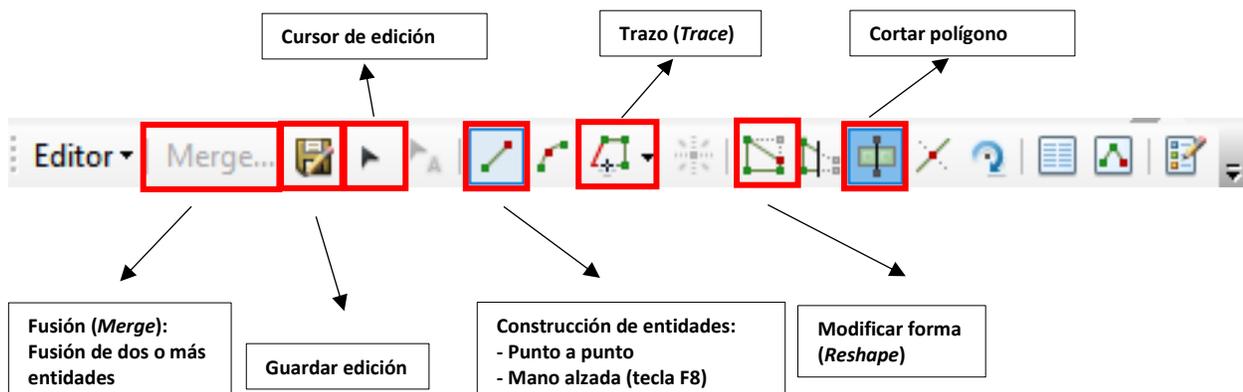


Figura 30. Aspecto de la barra de herramientas de Edición (*Editor*) y herramientas más utilizadas.

Al iniciar la edición de una capa vectorial, las herramientas que se encuentran en la barra Editor pasan a activarse. Con el cursor de edición  se selecciona el polígono a editar; cuando no se ha ajustado el parámetro de tolerancia de movimiento (*StickyMoveTolerance*) en las Opciones de Edición (Imagen

13), es recomendable utilizar el puntero de selección  , con el fin de evitar el desplazamiento de polígonos y errores topológicos por superposición o *gaps*.

◦ Herramienta de trazo (*Trace*):

Esta herramienta de edición permite trazar una línea teniendo como base una línea anterior o de un archivo vectorial; esta herramienta es útil cuando hay límites o trazos realizados previamente y por donde se considera se debe recortar el polígono de interpretación. Es útil cuando por error se ha eliminado algún polígono y es necesario autocompletar respetando un límite previamente establecido.

La herramienta de trazo o *Trace* se activa seleccionando el polígono a editar y haciendo clic en la herramienta Recortar (*Cut*) (Imagen 31).



Figura 31. Aspecto de las herramientas de trazo (*Trace*) y Recorte (*Cut*).

◦ Herramienta Fusión de entidades (*Merge*):

Esta herramienta permite fusionar la geometría y los atributos de dos o más polígonos previamente seleccionados. Al fusionar deben elegirse los atributos de los polígonos que deseen mantenerse, por tanto, es una herramienta que debe utilizarse bajo un conocimiento preexistente de las unidades geomorfológicas delimitadas y sus atributos.

Esta herramienta es útil a lo largo del proceso de interpretación, así como en el proceso de empalme de capas (las cuales deben estar unidas en un mismo Feature Class) y en el control de polígonos adyacentes. Para activar esta herramienta debe activarse la edición del Feature Class; se seleccionan adecuadamente los polígonos que deben fusionarse, en el menú desplegable *Editor*, seleccionar *Merge* y elegir el polígono del cual se desea conservar los atributos (Imagen 32).

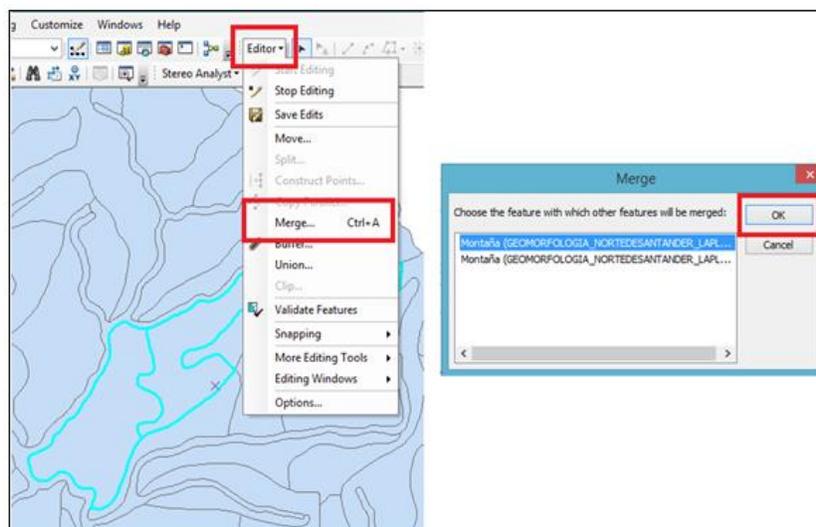


Imagen 32. Herramienta Fusión de entidades (*Merge*)

#### 4.3.6. AJUSTE Y ENTREGA FINAL

Previo a la entrega de la capa interpretada, es preciso verificar que el archivo de interpretación tenga las características técnicas requeridas para ser revisada por los controles de calidad y sea objeto de uso adecuado por los usuarios finales de esta información; por lo anterior se realizan varios pasos adicionales con el fin de identificar posibles inconsistencias en la capa a entregar.

◦ Control de áreas:

El control de áreas se relaciona con la verificación de áreas mínimas de mapeo exigida de acuerdo con la escala de salida del producto final, así como los criterios cartográficos y temáticos establecidos en el Instructivo "Elaboración de cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos".

Por ejemplo, a escala 1:25.000 el área mínima cartografiable de las unidades geomorfológicas es igual a 1,6 hectáreas, y si se involucran las delimitaciones de fase por pendiente el área mínima de los polígonos delimitados debe ser 6,25 hectáreas; si existen casos de polígonos de unidades geomorfológicas con fase por pendiente ubicados hacia el límite del área interpretada (bordes de la asignación), es preciso verificar los empalmes o la continuidad temática para confirmar que ese polígono puede ser igual o superior a 6.25Ha.

Para verificar que los polígonos cumplan con los criterios de área mínima cartografiable establecidos, se abre la tabla de atributos (clic derecho sobre el Feature Class, luego clic en *Open Attributes Table*) (Imagen 33). En la columna de área en hectáreas (AREA\_Ha) hacer clic derecho y seleccionar *Calcular Geometría (Calculate Geometry)*; se abre una ventana en la cual debe seleccionarse las unidades en las cuales es requerido realizar el cálculo de áreas, en este caso Hectáreas (ha), y por último hacer clic en OK (Imagen 33).

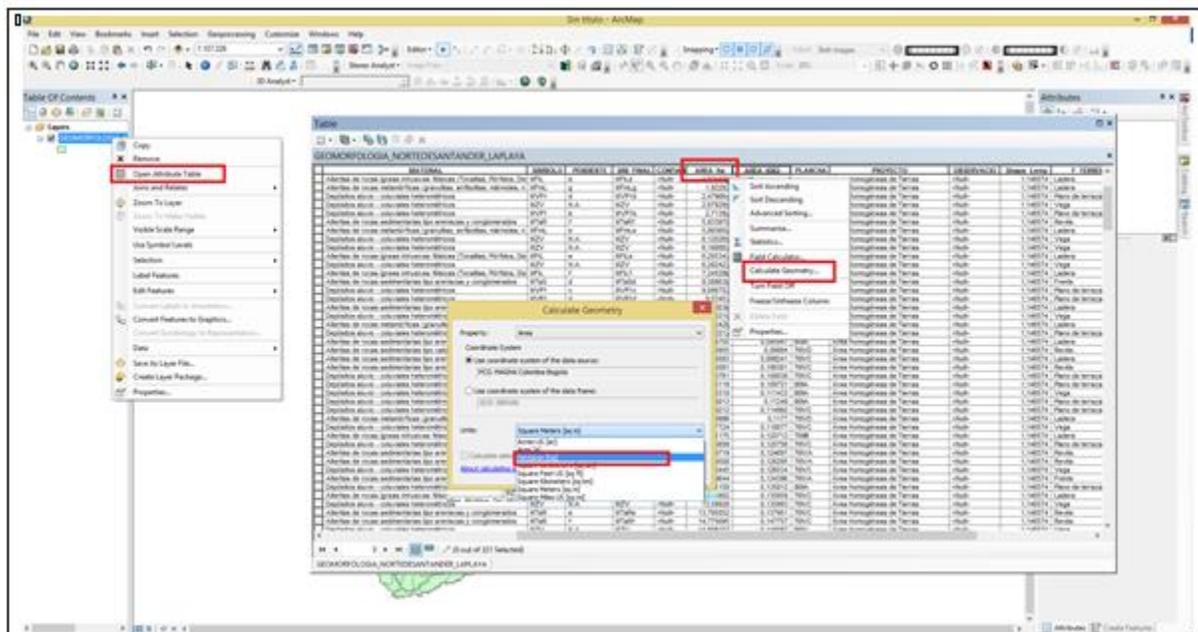


Imagen 33. Cálculo de áreas en hectáreas (ha) con función *Calculate Geometry*.

◦ Tabla de Atributos:

Es recomendable verificar que para cada polígono o unidad geomorfológica los atributos se encuentren diligenciados en su totalidad, guardando completa correspondencia con las unidades referidas en el Formato "Leyenda de Interpretación Geomorfológica aplicada a Levantamiento de Suelos" en su versión vigente. Por ejemplo, los atributos del campo Símbolo Final (SIM\_FINAL) deben ser

concordantes con los símbolos y las fases de pendiente correspondientes que se encuentran en la Leyenda de Interpretación Geomorfológica bajo la versión vigente. Para tal fin se realiza una inspección visual sobre la tabla y se verifica con la herramienta de ArcToolbox Dissolver (*Dissolve*).

También se recomienda visualizar la interpretación desplegando la capa por gamas de colores (*Properties/Symbology/Categories/UniqueValues*), utilizando cada uno de los campos de la tabla de atributos; esta acción permite detectar errores temáticos de interpretación o diligenciamiento de los campos de la tabla.

- Dissolver (*Dissolve*): Esta herramienta de ArcToolbox (disponible para la licencia ArcGIS Advanced) permite la fusión de polígonos tomando como referencia uno o varios atributos; en el marco del proceso de interpretación geomorfológica esta herramienta permite identificar entidades que estén duplicadas o con errores en digitación de campos. Esta herramienta se ejecuta normalmente después de una verificación visual sobre la tabla de atributos con el fin de identificar posibles inconsistencias.

Teniendo en cuenta que los campos de la tabla de atributos deben estar completamente diligenciados, se ejecuta la herramienta Dissolver en la ventana ArcToolbox/Data Management Tools/Generalization/Dissolve. Deben seleccionarse los campos que contengan la información temática (Paisaje, Tipo de relieve, Ambiente morfogenético, Forma del terreno, Materiales geológicos y Símbolo); el archivo de salida (tipo Shapefile o Feature Class, según elección) contiene en su tabla de atributos los campos seleccionados con un resumen de los atributos introducidos; con el despliegue de la tabla o de la capa generada utilizando simbología por colores se verifica si existe duplicidad o errores en la digitación de los mismos (Imagen 34).

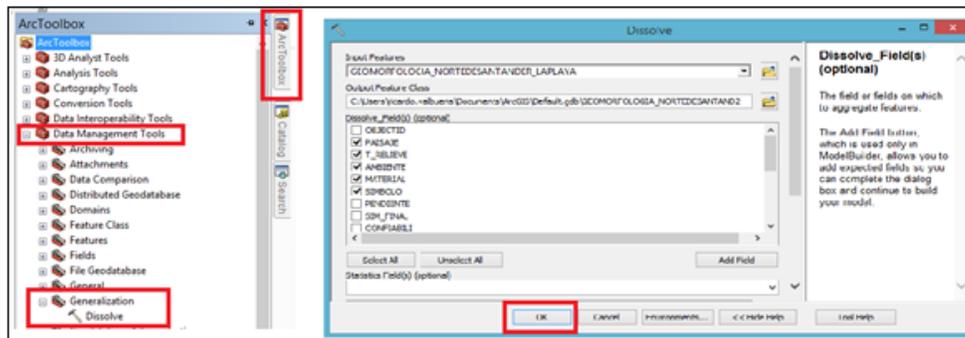


Imagen 34. Aspecto de la herramienta Dissolver (*Dissolve*).

◦ Control topológico:

El producto de interpretación geomorfológica digital es un archivo vectorial de geometría tipo polígono, el cual debe tener una concordancia cartográfica; como cada uno de los polígonos tiene límites comunes entre sí (geometría coincidente), es necesario realizar una revisión topológica con el fin de evitar errores asociados a esta geometría.

Antes de entregar la capa interpretada se deben verificar las siguientes tres reglas básicas:

- **Vacíos dentro de la asignación (Gaps):** dentro de la capa interpretada no deben encontrarse vacíos o huecos. La capa debe ser continua hasta sus bordes.
- **Superposición de polígonos (Overlaps):** dentro de la capa interpretada no se deben encontrar polígonos superpuestos.
- **Correspondencia del área interpretada con el polígono de asignación (Must be Covered by Feature Class of):** la capa interpretada debe guardar correspondencia geométrica completa (sin

sobrepasar límites o presentar vacíos) con el polígono de asignación impartido al inicio de la interpretación.

Para realizar el control topológico debe habilitarse la interfaz ArcCatalog. En la Geodatabase y Feature Dataset que contiene la interpretación geomorfológica, hacer clic derecho sobre el Feature Dataset y seleccionar el menú *New/Topology*. Luego seleccione el Feature Class sobre el cual debe hacerse el control topológico (Imagen 35).

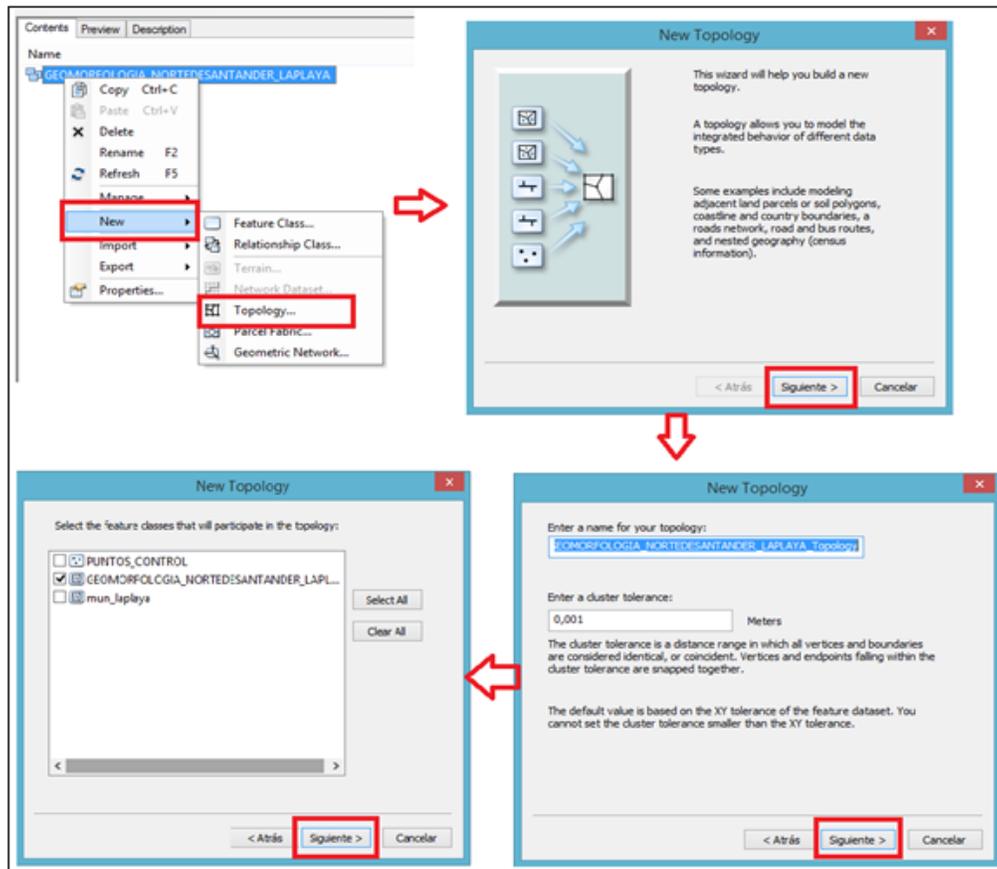


Imagen 35. Generación de nuevas reglas topológicas (*New Topology*)

A continuación, se agregan las reglas sugeridas de control topológico (Imagen 36).

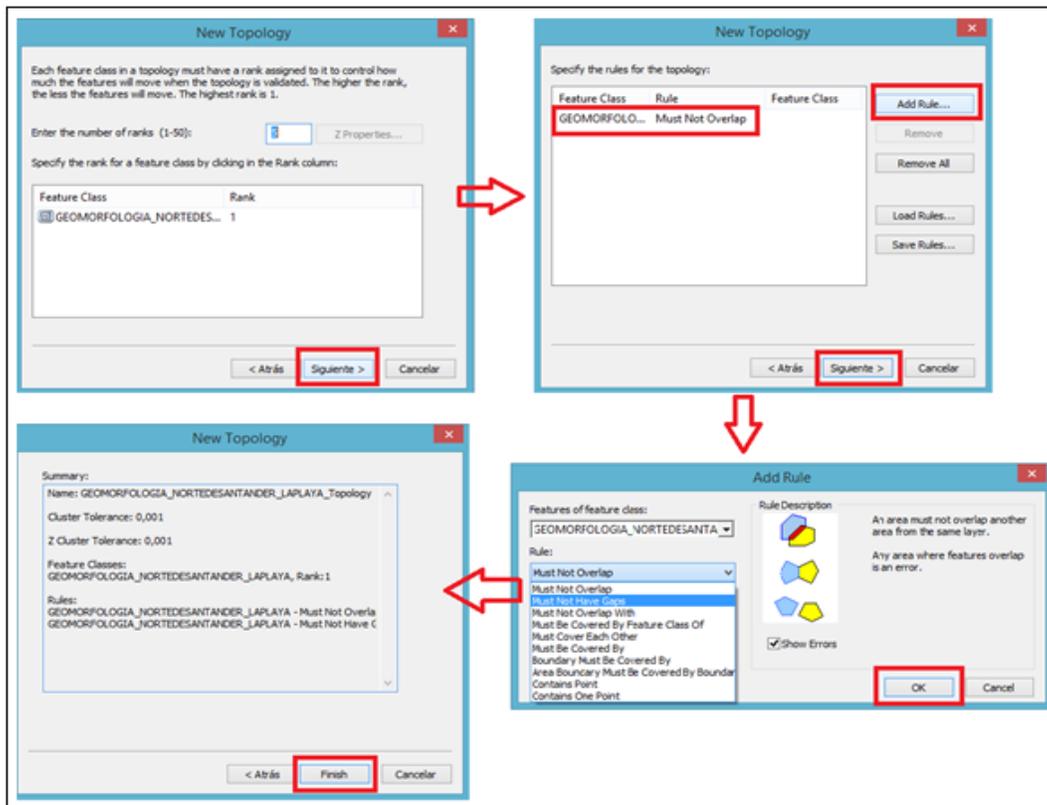


Imagen 36. Adición reglas de control topológico (Add Rule).

Para adicionar la regla de correspondencia del área interpretada con el polígono de asignación, el área de asignación original debe estar en el mismo Feature Dataset de la capa de interpretación geomorfológica. La regla de topología debe configurarse de la siguiente forma (Imagen 37):

“Features of feature class: AREA\_ASIGNACION **Must be Covered By Feature Class of Feature Class:** Capa de interpretación geomorfológica”

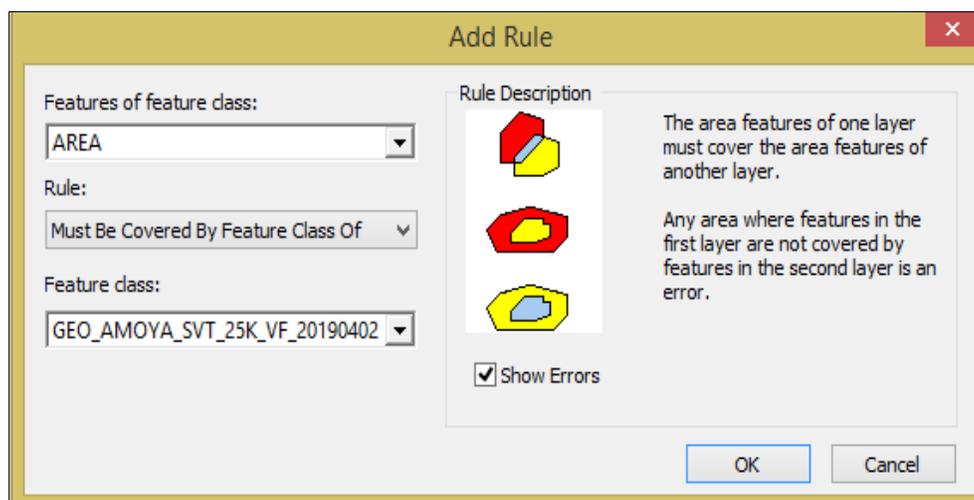


Imagen 37. Regla de control topológico *Must be Covered By Feature Class of*.

Para visualizar y corregir los errores encontrados en el proceso de control topológico, se abre un proyecto nuevo de ArcMap y se adiciona al visor la topología creada en pasos anteriores. (Imagen 38).

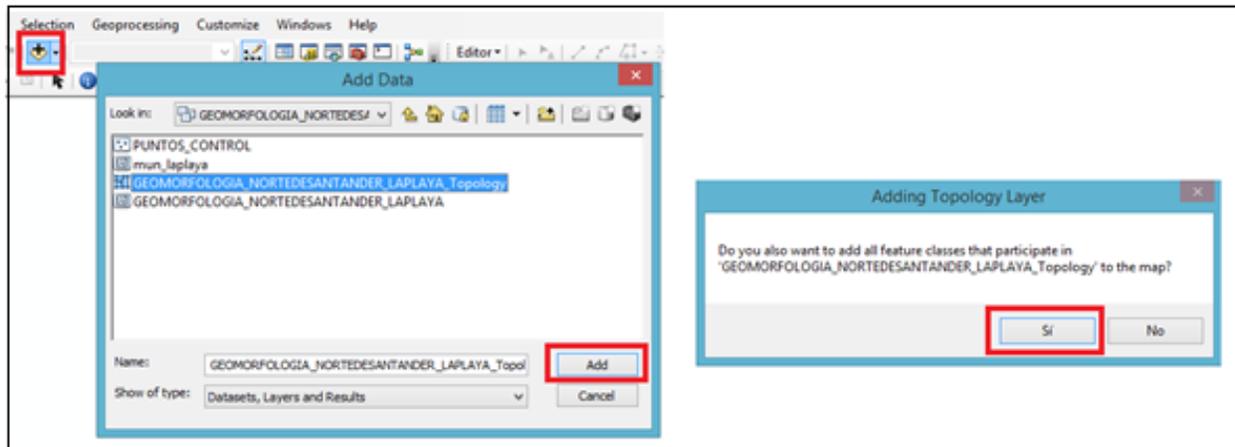


Imagen 38. Adicionar topología al visor de ArcMap

En la visualización deben aparecer la topología creada y los Feature Class involucrados en el control topológico (interpretación y área de asignación). Para editar la topología, habilitar la barra de herramientas *Topology* en el menú *Customize/Toolbars/Topology*.

Se activa el modo de edición (Barra de herramientas *Editor/StarEditing*); en la barra de herramientas *Topology* se selecciona el ícono *Error Inspector* , inmediatamente se desplegará una tabla, en la cual presionando el botón *Search Now* muestra los errores encontrados a partir de la configuración de las reglas topológicas sugeridas (Imagen 39).

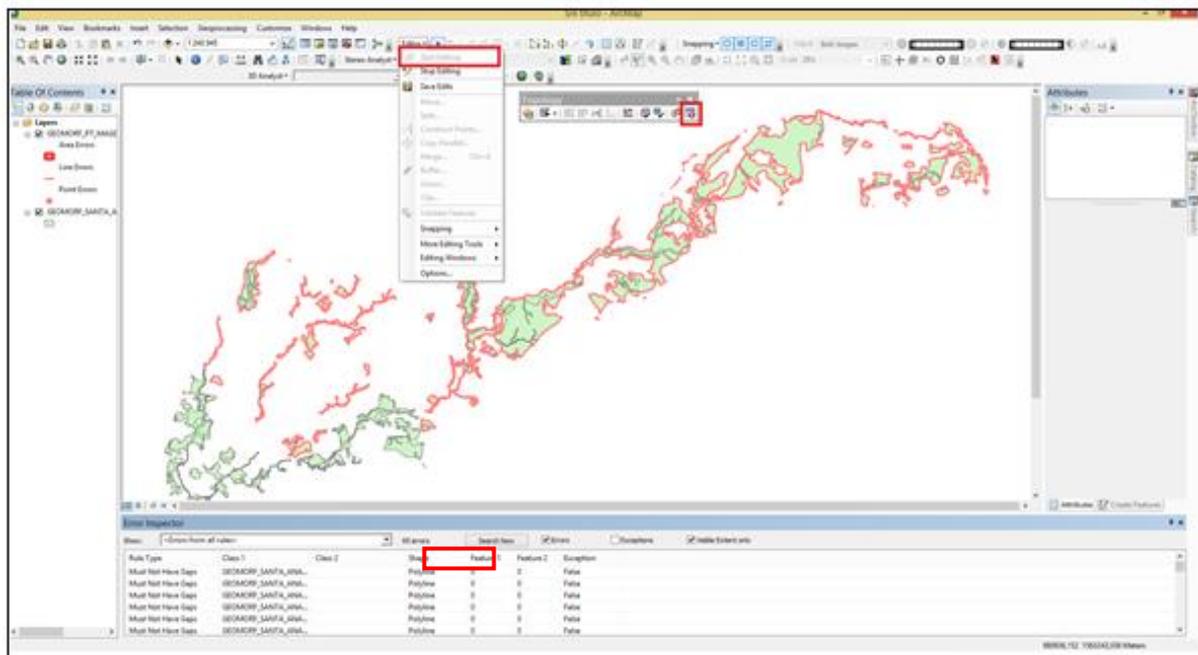


Imagen 39. Visualización de errores topológicos con *Error Inspector*.

◦ Control de polígonos adyacentes:

El control de polígonos adyacentes sirve para evitar que polígonos colindantes o vecinos estén con la misma información en su tabla de atributos; este problema crea inconsistencias temáticas en la capa de interpretación final por la repetición de información en polígonos colindantes que deberían representar unidades geomorfológicas con atributos diferentes.

Para realizar esta verificación, el intérprete debe poseer una herramienta de ArcToolbox denominada "Localización de polígonos vecinos con igual atributo". Si la herramienta está correctamente configurada, debe encontrarse en el menú *ArcToolbox/Personalizadas/Comparación de Polígonos/Localización de polígonos vecinos con igual atributo*.

En la ventana de la herramienta se selecciona la capa de interpretación geomorfológica (en formato Shapefile o Feature Class) y el atributo de Símbolo Final (SIM\_FINAL, Imagen 40). Esta herramienta genera dos archivos en formato Shapefile: un archivo con el mismo contenido de la capa de interpretación geomorfológica y otro archivo que contiene los polígonos que poseen adyacencia en el atributo escogido. Si este último archivo aparece vacío (sin geometrías o atributos), indica que la capa de interpretación no posee polígonos adyacentes.

**NOTA:** Esta herramienta utiliza algunas operaciones incluidas en la licencia ArcGIS Advanced. Si no se tiene habilitada una licencia de este tipo, la herramienta no puede ejecutarse.

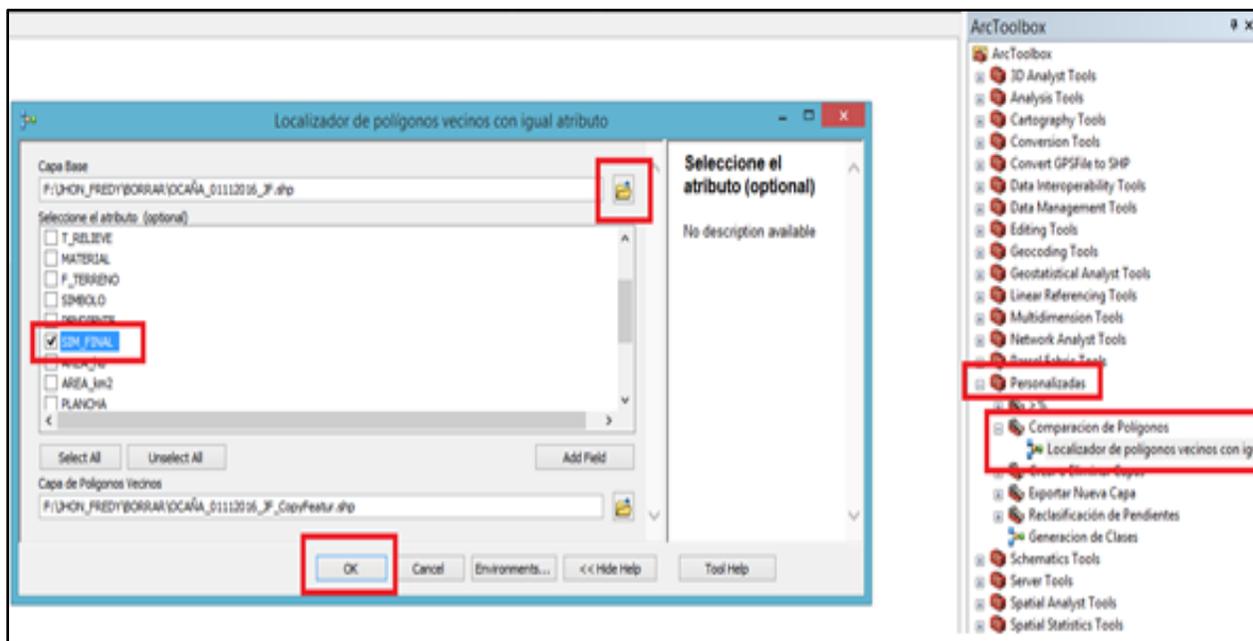


Imagen 40. Ventana herramienta Localizador polígonos adyacentes.

#### 4.4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Centro de Investigación y Desarrollo – CIAF, (2013). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D.C., Colombia.
- [2] Cuervo V. G, (2013). Guía y catálogo de unidades geomorfológicas en Colombia por sensores remotos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias humanas. Departamento de Geografía. Bogotá D.C., Colombia.
- [3] García J., (2010). Fotogrametría Digital, Sensores Electroópticos- Cámaras Digitales. Universidad de Jaén, España. Recuperado de <http://coello.ujaen.es>
- [4] GeoSARProductHandbook. Version 1.3., (May 2009). Public Edition. FrugoEarthData, Inc. Recuperado de [www.fugroearthdata.com](http://www.fugroearthdata.com)

- [5] Geosoluciones (2017). Soluciones Integrales en Geomática. Ingeniería Geoespacial. Imágenes Satelitales de Alta Resolución. Chile. Consulta página web <http://www.geosoluciones.cl>.
- [6] Pons Xavier (2015). Landsat 8 novedades y posibilidades. Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- [7] RapidEye (2013). Especificaciones del Producto RapidEye Mosaic. Recuperado de [www.rapideye.com](http://www.rapideye.com).
- [8] SANTOS P. L., (2006). Cámaras fotogramétricas aéreas digitales. Ventajas e inconvenientes. Influencia en la ejecución de cartografía catastral. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es>
- [9] Smith B. & Sandwell D., (2003). Accuracy and resolution of shuttle radar topography mission data. Geophysical research letters, vol. 30 No. 9, 1467. doi: 10.1029/2008GL016643, 2003. IGPP, Scripps Institution of Oceanography, USA.
- [10] Yu J. & Linlin G., (2010). Digital Elevation Model generation using ascending and descending multi-base ALOS/PALSAR radar images. Remote Sensing and Imagery II. FIG COngress 2010. Facing the Challenges- Building the Capacity. Sydney, Australia, 11-16.

## 5. CONTROL DE CAMBIOS

FECHA	CAMBIO	VERSIÓN
22/09/2022	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Se adopta como versión 1 debido a la actualización del Mapa de Procesos en Comité Directivo del 29 de junio del 2021, nuevos lineamientos frente a la generación, actualización y derogación de documentos del SGI tales como: cambios de tipos documentales y nueva codificación por procesos. Emisión Inicial Oficial.</li> <li>◦ Se ajusta el documento según la nueva Estructura Orgánica aprobada por Decreto 846 del 29 de julio del 2021.</li> <li>◦ Hace Parte del proceso <b>Gestión de Información Geográfica</b> del subproceso <b>Gestión Agrológica</b>.</li> <li>◦ Se encuentra asociado al procedimiento "Cartografía Geomorfológica Aplicada a Levantamiento de Suelos".</li> <li>◦ Se incluyó el capítulo de definiciones.</li> <li>◦ Se actualiza el instructivo "Elaboración de Cartografía Geomorfológica Digital en 2D Aplicada a Levantamientos de Suelos", código <b>IN-GAG-PC04-04</b>, versión 1 a instructivo del mismo nombre, código <b>IN-AGR-PC02-03</b>, versión 1.</li> </ul>	1
19/04/2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Se adopta como versión 1 debido a cambios en la Plataforma Estratégica (actualización del mapa de procesos), nuevos lineamientos frente a la generación, actualización y derogación de documentos del SGI tales como: cambios de tipos documentales y nueva codificación por procesos. Emisión Inicial Oficial.</li> <li>◦ Se actualiza el instructivo "Elaboración de cartografía geomorfológica digital en 2D aplicada a levantamientos de suelos", código <b>I40700-04/17.V2</b>, versión 2 a instructivo del mismo nombre, código <b>IN-GAGPC04-04</b>, versión 1.</li> <li>◦ Se deroga totalmente la circular 175 del 19 de julio de 2017.</li> <li>◦ Se asocia al procedimiento "Cartografía Geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos", código PC-GAG-04, versión 1.</li> <li>◦ Para la versión actual del presente documento se sintetizaron las actividades y se organizó su desarrollo con base en los fundamentos que lo acompañan.</li> </ul>	1

FECHA	CAMBIO	VERSIÓN
	<ul style="list-style-type: none"> <li>° Ajuste redacción de textos y figuras distribuidos en el documento. Se agrega y modifica en el numeral 3.4.2, el procedimiento para la creación y nombramiento de la Geodatabase de interpretación geomorfológica, guardando correspondencia con el Instructivo "Elaboración de cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos".</li> <li>° Se agrega en el numeral 3.3.6. La regla de control topológico "Correspondencia del área interpretada con el polígono de asignación". Se elimina Anexo 1 Referencias Bibliográficas; el texto del anexo se integra al texto del documento en el numeral 3.4</li> </ul>	

Elaboró y/o Actualizó	Revisó Técnicamente	Revisó Metodológicamente	Aprobó
<p><b>Nombre:</b> Néstor Javier Martínez Ardila</p> <p><b>Cargo:</b> Profesional Especializado Subdirección de Agrología</p>	<p><b>Nombre:</b> Napoleón Ordoñez Delgado</p> <p><b>Cargo:</b> Profesional Especializado Subdirección de Agrología</p>	<p><b>Nombre:</b> Juan Pablo López Meléndez</p> <p><b>Cargo:</b> Profesional Especializado Oficina Asesora de Planeación</p>	<p><b>Nombre:</b> Pamela del Pilar Mayorga</p> <p><b>Cargo:</b> Subdirectora de Agrología (E)</p>
<p><b>Nombre:</b> Wveimar Samacá Torres</p> <p><b>Cargo:</b> Contratista Subdirección de Agrología</p>			
<p><b>Nombre:</b> María Paula Rojas Rueda</p> <p>Revisión metodológica</p> <p><b>Cargo:</b> Contratista Subdirección de Agrología</p>			