

Taller de Hidrología

Sandra Rocío Villamizar Amaya, Ph.D.

<https://sites.google.com/view/svillamizar/home>

Simulación en herramienta ArcGIS de la delimitación de una cuenca

(Traducido y adaptado del trabajo realizado por el Dr. Venkatesh Merwade de la Universidad de Purdue – “Stream Network and Watershed Delineation Using Spatial Analyst Hydrology Tools”)

Competencias a desarrollar:

- Delimita una cuenca hidrográfica a partir de sus características fisiográficas, utilizando estrategias digitales.
- Reconoce la importancia de las herramientas digitales aplicadas para llevar a cabo procesos de ingeniería en condiciones de alta calidad.

Propósito: Familiarizarse con el funcionamiento del software ArcMap a través de un ejercicio de construcción de una red de drenaje y delimitación de cuencas hidrográficas a partir de un modelo digital del terreno (DEM).

Duración aproximada: 90 minutos

Entregables: Cada estudiante debe entregar un **documento en Word** que contenga un párrafo estilo “abstract” que resuma el trabajo realizado; por lo tanto, el párrafo debe incluir el objetivo, los métodos y resultados obtenidos con el ejercicio de modelación. Al final del párrafo incluya la imagen del último resultado que usted alcanzó durante el desarrollo de la práctica.

Requerimientos: Este taller se realiza con la versión 10. de ArcGIS. Las instrucciones de instalación del software o acceso al mismo se envían por correo electrónico. Se requiere la instalación de la extensión de análisis espacial (Spatial Analyst) para desarrollar el trabajo. Dentro del menú “Customize”, seleccione la opción “Extensions” y allí verifique que la extensión “Spatial Analyst” esté seleccionada (ver Figura 1).

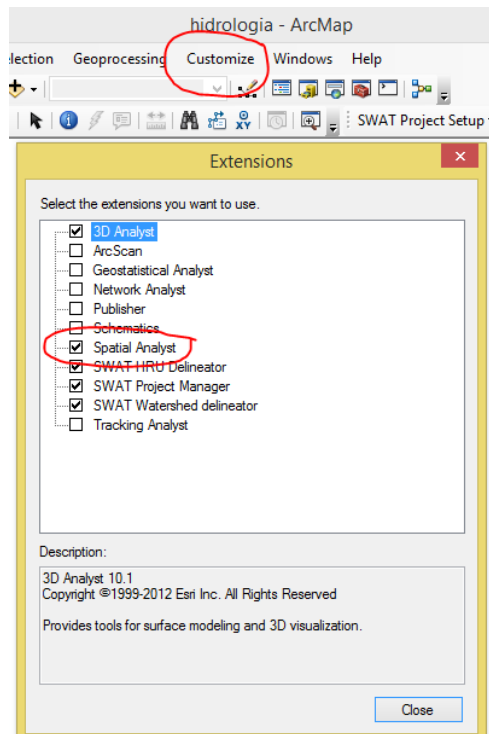


Figura 1. Verificación de que la extensión de análisis espacial esté activa.

Insumos para el desarrollo del taller:

Los datos para el desarrollo del taller se descargan del sitio “

<ftp://ftp.ecn.purdue.edu/vmerwade/download/data/hydrology.zip>”. Este archivo está comprimido y contiene un modelo digital del terreno y puntos de estudio. Una vez descargado el folder, cópielo a la carpeta de trabajo y descomprímalo. Estos archivos corresponden a una cuenca de la quebrada Cedar en el noreste del estado de Indiana (USA) pero es posible usar información para otra cuenca de interés. Vale la pena aclarar que existen procesos asociados a la elaboración de un modelo digital del terreno. Puede conocer más al respecto a través de los siguientes vínculos (tutoriales en Inglés del mismo autor):

- Descarga de datos topográficos (y otros):

http://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/ned_nhd.pdf

- Procesamiento de datos topográficos para crear el DEM:

http://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/spatial_analyst.pdf

Procedimiento:

1. Abra ArcMap (a través del menú de inicio o haciendo doble click en el ícono del escritorio).
2. Guarde inmediatamente el archivo como “hidrología.mxd” en una carpeta dentro del computador (ver Figura 2). Allí mismo deben estar almacenados los insumos del ejercicio.

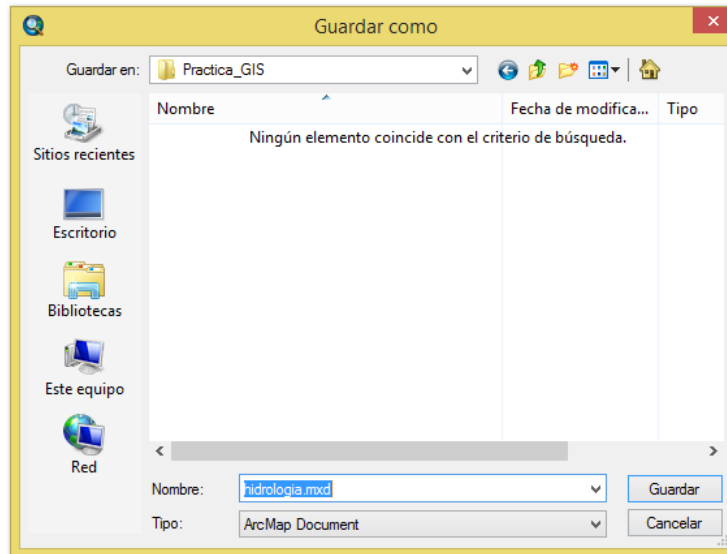


Figura 2. Almacenamiento del proyecto “hidrologia.mxd”.

3. Explore los insumos del taller. Con la herramienta “Add Data”, seleccione el archivo “cedar_dem” y agréguelo al proyecto haciendo click en “Add” (ver Figuras 3 y 4).

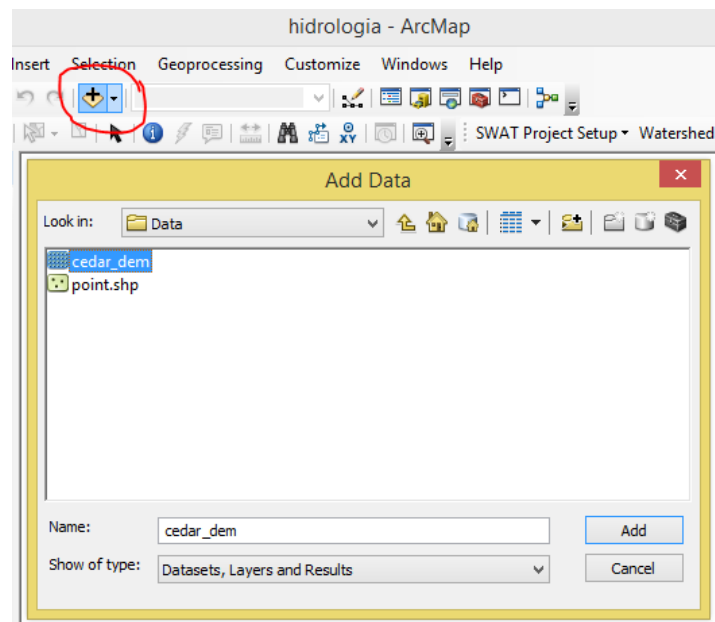


Figura 3. Instrucciones para agregar un archivo (DEM) al proyecto de ArcGIS.

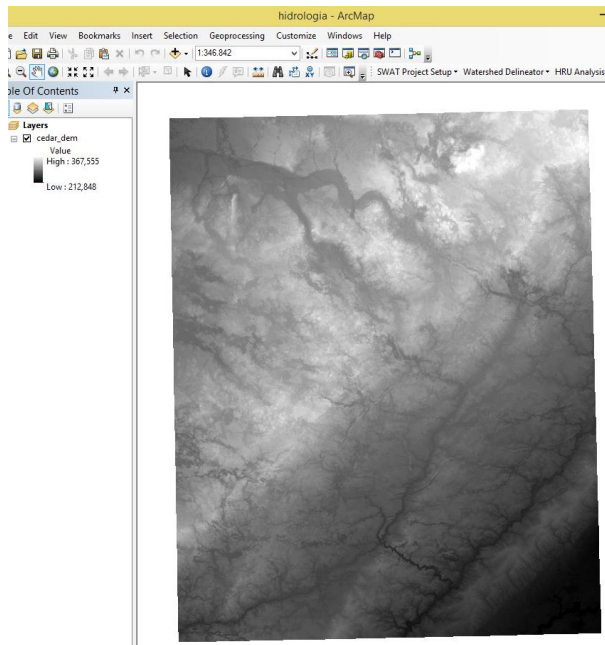


Figura 4. Vista del DEM de la zona de la cuenca de la quebrada CEDAR.

Seleccione con el botón derecho del mouse el archivo “cedar_dem” que aparece en el panel izquierdo de ArcMap. En ese menú, seleccione la opción “Propiedades/Properties”. Aparece una nueva ventana que presenta todas las propiedades del elemento o capa de interés. Explore los diferentes submenús para que se familiarice con ellos. El submenú “Fuente/Source” tiene información muy valiosa del DEM de la cuenca Cedar. Particularmente, note que este archivo tiene una referencia geográfica que le permite estar ubicado correctamente en el espacio (ver Figura 5).

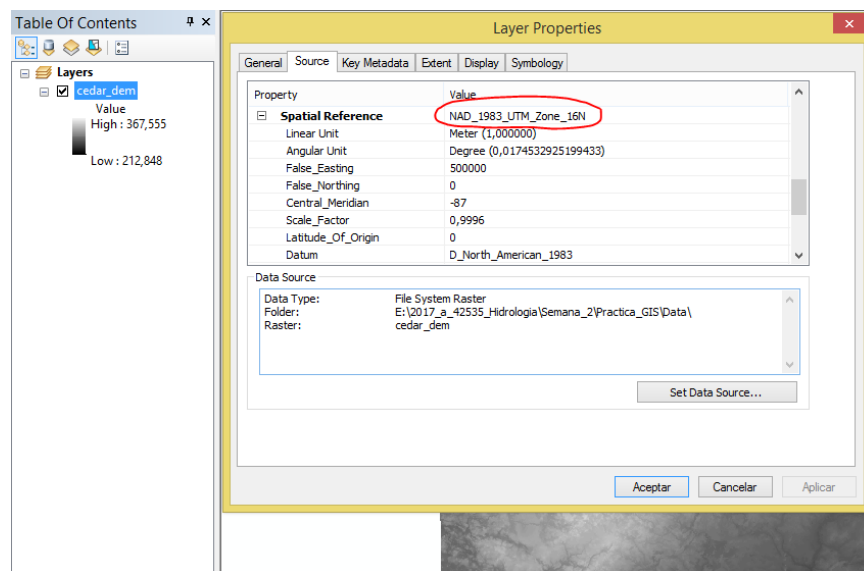


Figura 5. Menú de propiedades de la capa “cedar_dem” mostrando específicamente la referencia espacial del archivo. El tamaño de las celdas de este archivo raster se muestra en la información del raster (“Raster Information” / “Cell Size (X,Y)” = 27,34525239, 27,34525239 m).

- Explore también el archivo “point.shp”. Puede ocurrir que le aparezca una advertencia sobre falta de proyección del archivo. Ignórela por ahora (presionando “OK”). Aparecen entonces en la pantalla dos puntos que sirven para indicar estaciones o puntos de monitoreo/control en la cuenca. Al consultar las propiedades del archivo, se puede verificar que no posee referencia espacial (ver Figura 6).

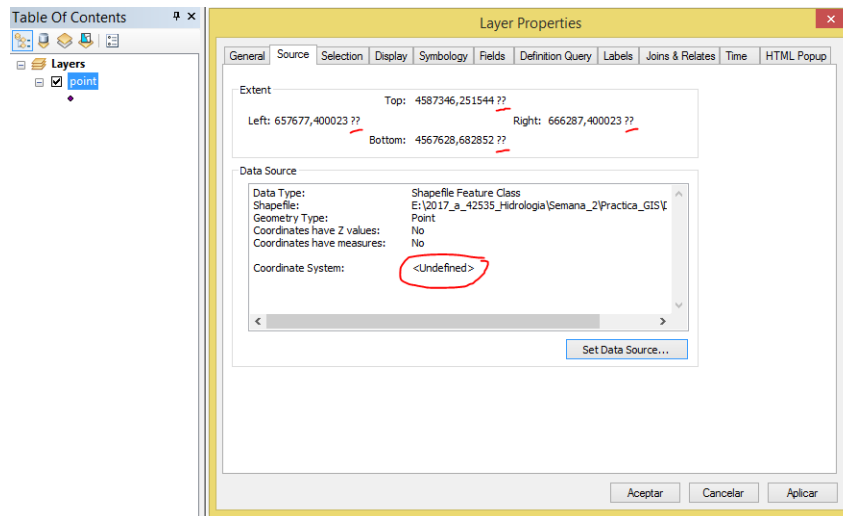


Figura 6. Menú de propiedades de la capa “point” mostrando específicamente la falta de referencia espacial.

La asignación de referencia espacial es indispensable y se puede realizar usando la función “Define Projection” (Definir Proyección) que se encuentra en la siguiente ruta dentro de la caja de herramientas de ArcMap “Arc Toolbox”: Arc Toolbox / Data Management tools / Projections and Transformations / Raster / Define Projection (ver Figura 7). El dato de entrada dentro del menú “Define Projection” es la capa de interés “point” y el Sistema coordinado a asignar debe ser el mismo del DEM pues los dos deben usar la misma referencia espacial. De la Figura 5 se ve que el sistema de referencia es el “NAD_1983_UTM_Zone_16N”. Este sistema se puede buscar a través de la herramienta “buscar” que existe en la ventana. Seleccione “Aceptar/Acept/OK” en cada uno de los menús para que se realice la definición de la proyección.

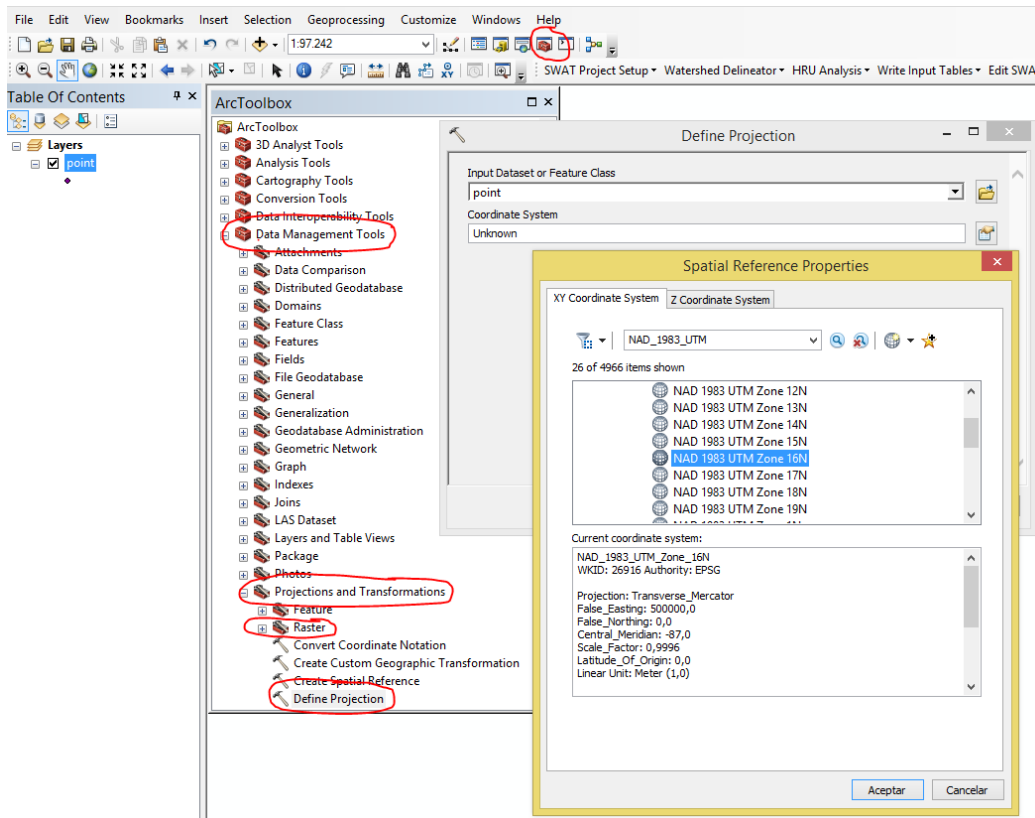


Figura 7. Definición de proyección geográfica usando el menú de herramientas “Arc Toolbox” de ArcMap.

- Para empezar el proceso de la delimitación de la cuenca, únicamente se requiere el DEM (“cedar_dem”). Remueva la capa “punto” (seleccione “remove” en el submenú que se activa al dar click con el botón derecho en la capa “punto”). A continuación agregue el DEM usando el procedimiento que

se mostró en el paso 3 de este taller. El primer paso de trabajo con el DEM es **remove las depresiones “sinks”** que pueden generar errores en el proceso de definición de la red hidrográfica. Esto se puede realizar con la función “Fill” que se encuentra dentro del paquete de Hidrología de la caja de herramientas de Arc Map (Arc Toolbox / Spatial Analyst Tools / Hydrology / Fill). El archivo de entrada es el DEM que tiene un formato raster (“cedar_dem”). El archivo de salida (Output Surface Raster) es un nuevo raster con las depresiones removidas cuyo nombre es definido por el usuario (para este ejercicio será “cedar_fill”). Localice este archivo en la misma carpeta de trabajo. El campo “Z limit” es opcional y se diligencia si existen excepciones para las cuales no se quieran rellenar las depresiones. En ese caso, en dicho campo se debe ingresar una distancia que representa la distancia máxima (entre la depresión y la celda vecina que vierte el agua) para la cual se rellenarían las depresiones (valores mayores que “Z limit” no resultarían en el relleno de una depresión). Para este ejemplo, el campo “Z limit” no se diligencia. Es decir, todas las depresiones del DEM se rellenan (ver Figura 8). El resultado de esta operación es un nuevo DEM (cedar_fill) que se agrega a las capas disponibles dentro del panel izquierdo de Arc Map.

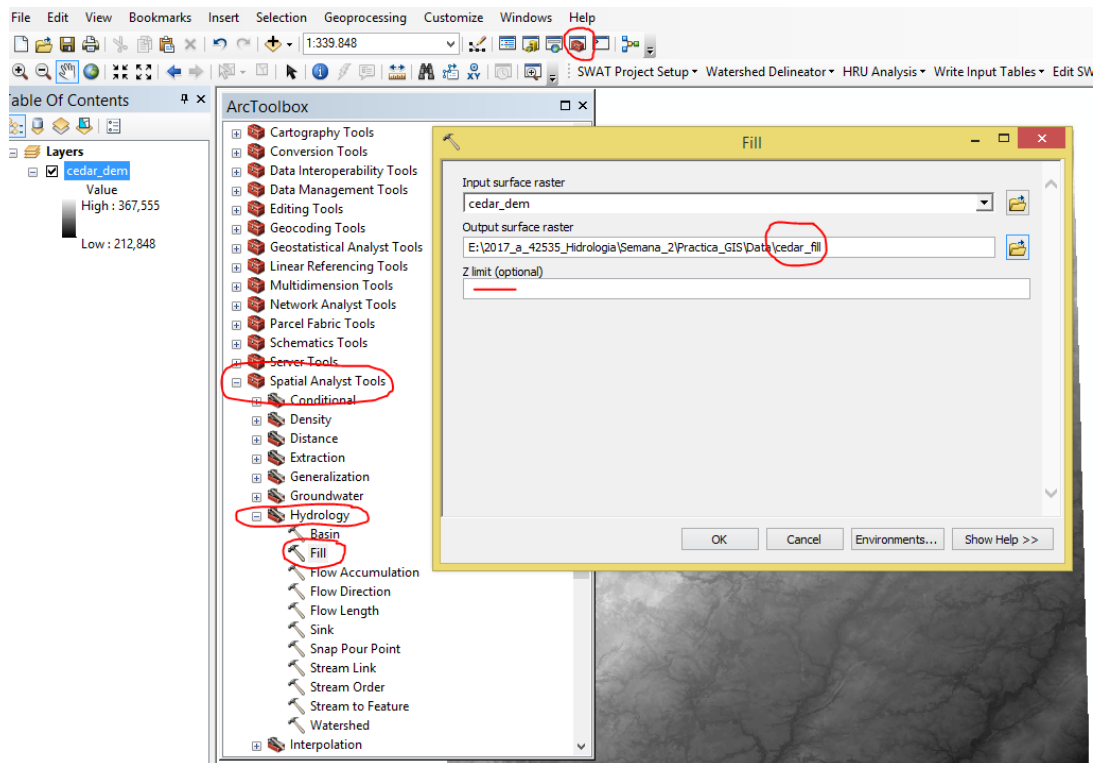


Figura 8. Rellenando depresiones en el DEM usando el menú de herramientas “Arc Toolbox” de ArcMap. Una depresión es una celda del raster que está completamente rodeada por celdas que tienen un atributo de elevación más alto de tal manera que el agua que fluye por dicha celda no podría continuar su camino fluyendo hacia otros puntos más bajos en el DEM.

6. El siguiente paso es **definir la dirección del flujo** dentro del DEM “cedar_fill”. Basado en el atributo de elevación del raster y usando una metodología específica (ver Figura 9), se puede definir la dirección del flujo para cada celda y en general, la dirección del flujo para todo el raster. Use la función “Flow Direction” de las herramientas de Arc Map (Arc Toolbox / Spatial Analyst Tools / Hydrology / Flow Direction). El raster de entrada es “cedar_fill” y el raster de salida es “cedar_fdr” (ubique el archivo en la misma carpeta del proyecto). Deje el resto de campos como están por defecto y presione “OK” (ver Figura 10). Una vez se completa el proceso, se agrega a la lista de capas disponibles un nuevo raster (“cedar_fdr”) que contiene las direcciones de flujo para cada celda (ver Figura 11).

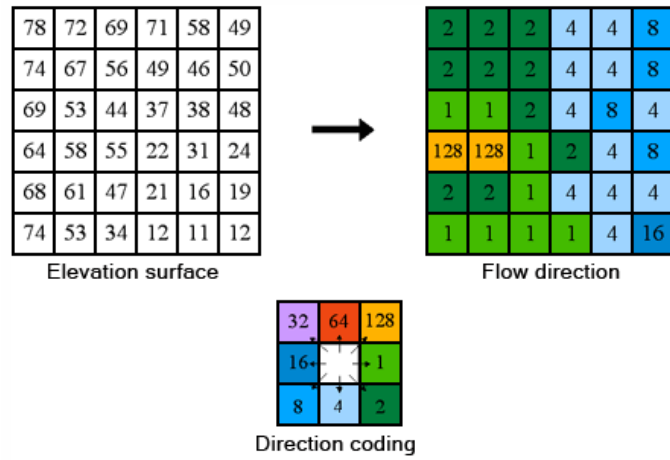


Figura 9. Metodología D8 para definir la dirección de flujo de cada celda

Fuente: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-direction-works.htm>

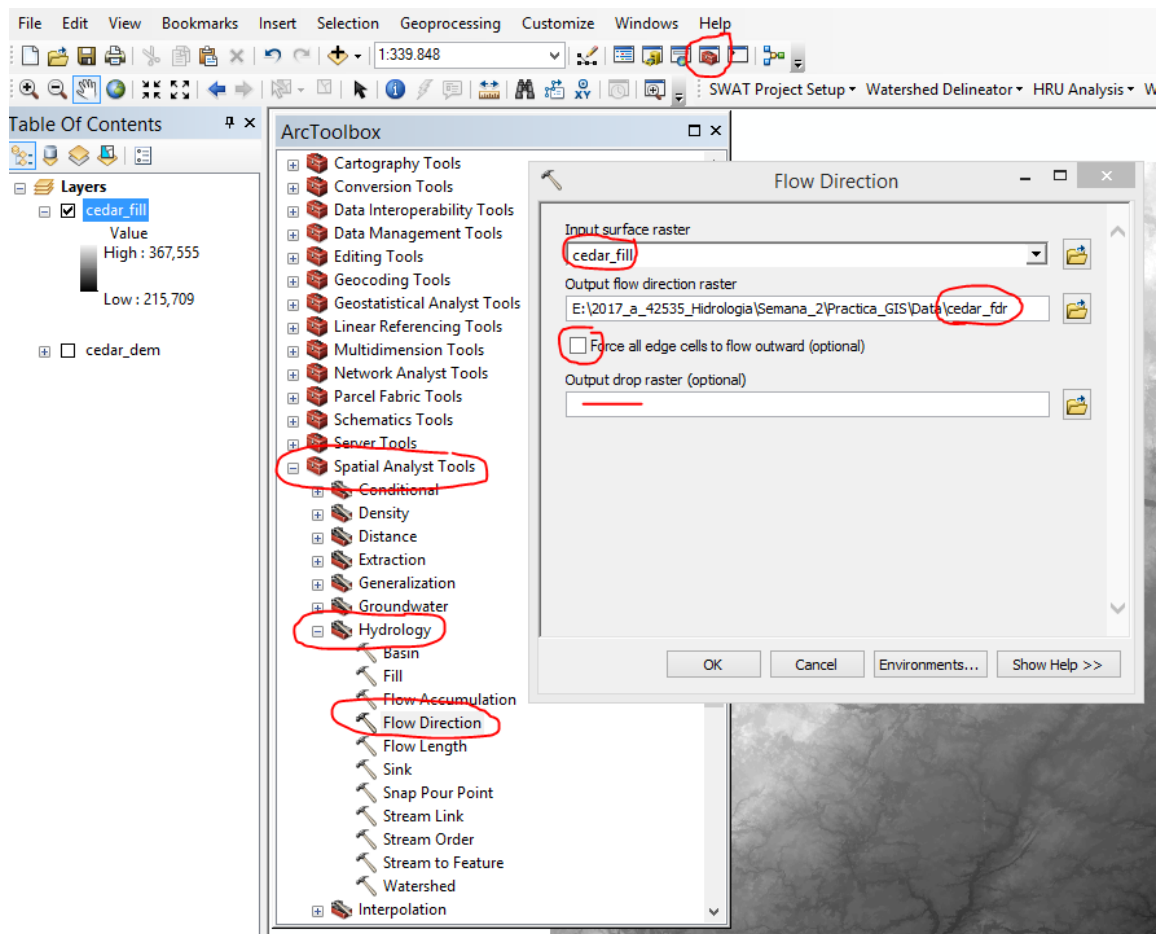


Figura 10. Generación de la dirección del flujo en el raster "cedar_fill" usando el menú de herramientas "Arc Toolbox" de ArcMap.

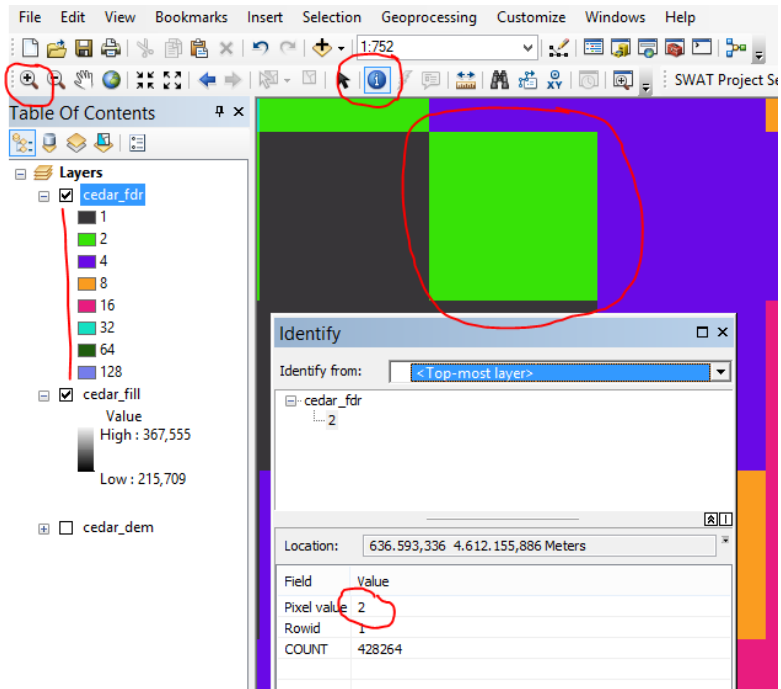


Figura 11. Generación de la dirección del flujo para cada celda en el raster “cedar_fill” usando el menú de herramientas “Arc Toolbox” de ArcMap.

- Una vez definida la dirección del flujo para cada celda, el siguiente paso es la determinación de la **acumulación del flujo**, es decir, Arc Map calcula el número acumulado de celdas que drenan a una celda particular del DEM. Use la función “Flow Accumulation” para generar el nuevo raster “cedar_fac”. El archivo de entrada (Input flow direction raster) es el archivo “cedar_fdr” (ver Figura 12). El nuevo raster se llama “cedar_fac” y sus valores son del tipo “INTEGER” (entero). Presione “OK” en la ventana de la función para generarlo.

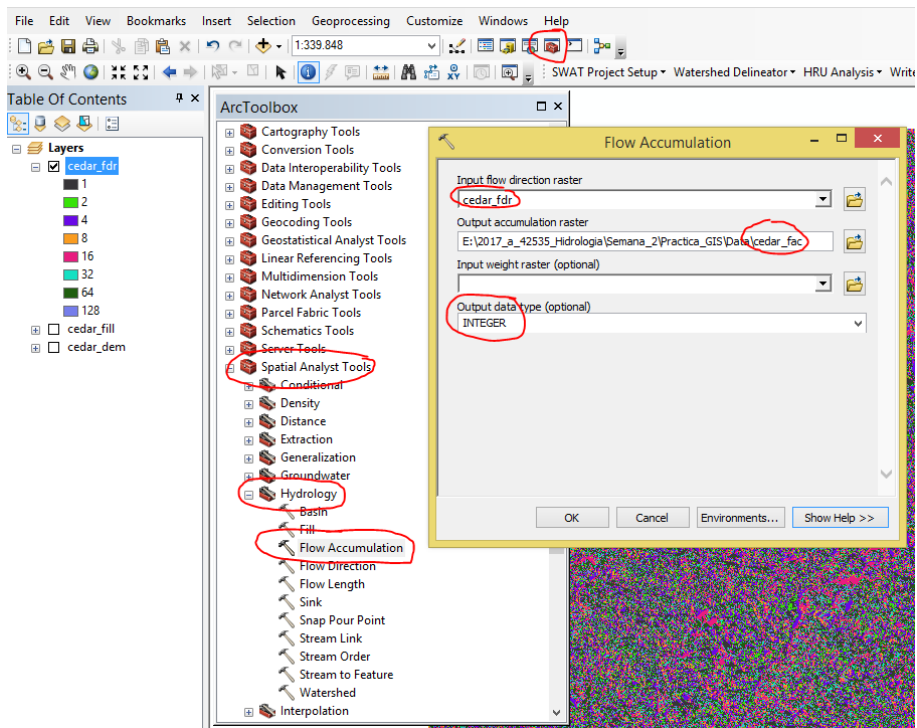


Figura 12. Generación de la acumulación del flujo para el raster “cedar_fdr” usando el menú de herramientas “Arc Toolbox” de ArcMap.

Usando la herramienta “zoom” y la de propiedades (“identify”) se puede hacer una comparación entre los pixeles negros (no acumulación) y los pixeles más claros (acumulación).

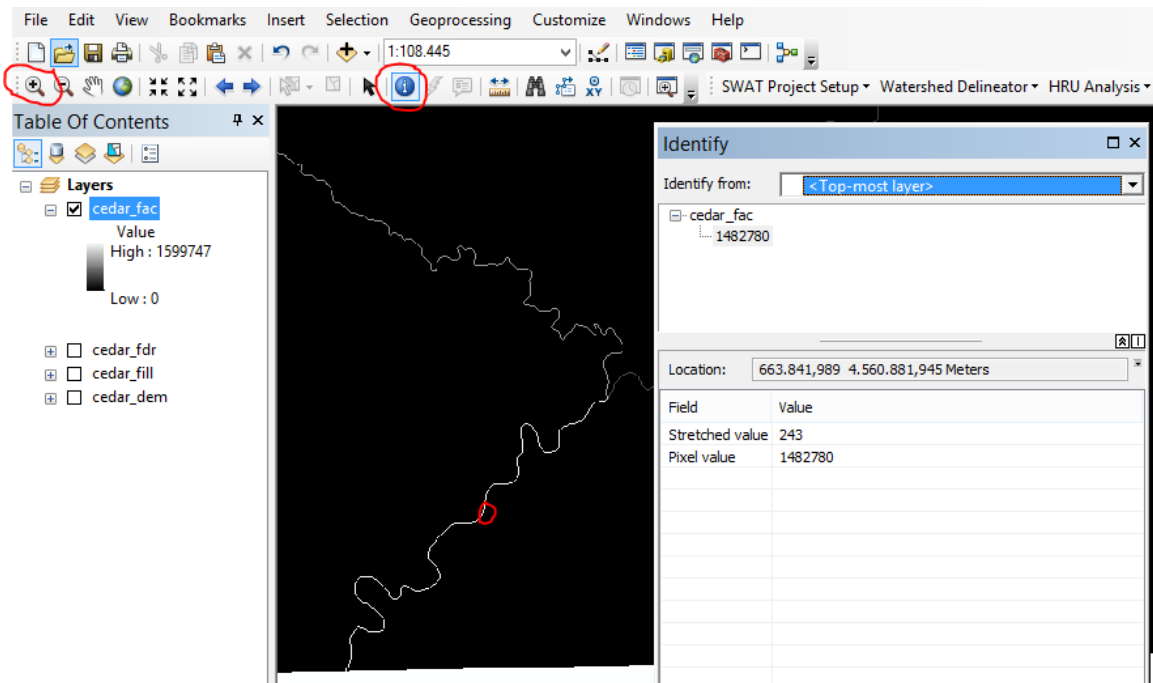


Figura 13. Raster de flujo acumulado que muestra en colores oscuros las celdas donde no hay acumulación y en colores más claros aquellas donde sí hay acumulación.

Si al hacer click con el botón derecho del mouse no es posible ver la tabla de atributos del raster “cedar_fac” (la opción “open attribute table” aparece desactivada), es necesario construirla. La construcción de la tabla de atributos para un raster con valores enteros se crea usando las herramientas de Arc Map así: Arc Toolbox / Data Management Tools / Raster / Raster Properties / Build Raster Attribute Table. El insumo para este proceso es el raster “cedar_fac” (ver Figura 14). Una vez finalizado el proceso, se puede tener acceso a la tabla de atributos del raster.

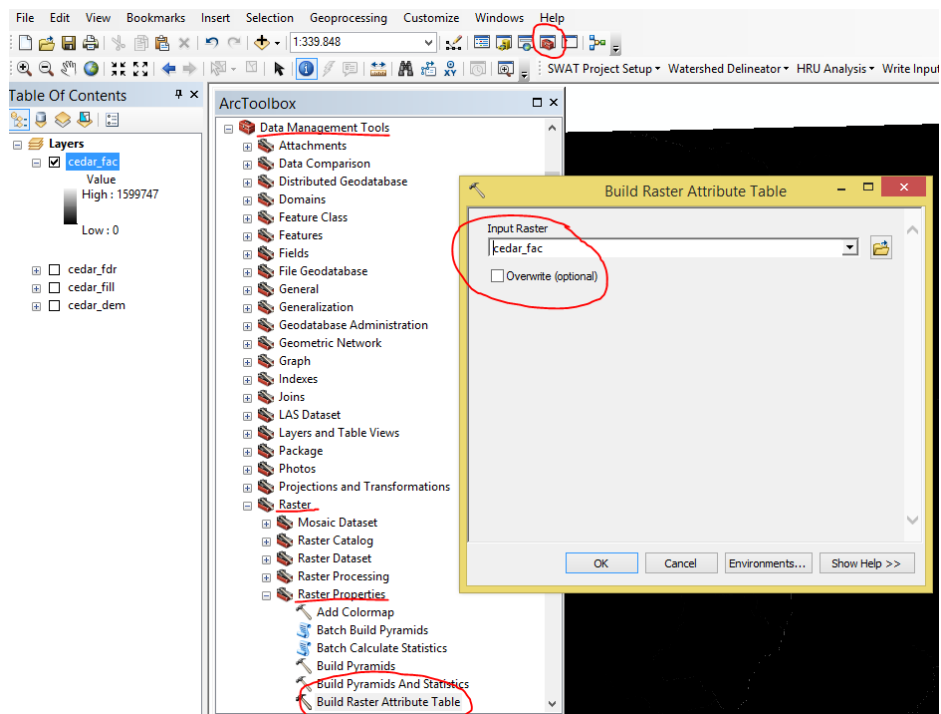


Figura 14. Generación de la tabla de atributos del raster “cedar_fac” usando el menú de herramientas “Arc Toolbox” de ArcMap. Una vez creada, la tabla se puede ver haciendo click derecho en la opción “open attribute table”.

8. **Creación de la red de drenaje.** La red de drenaje se crea a partir del raster de acumulación de flujo (“cedar_fac”) pues este reporta el número de celdas (o el área) que drenan a una celda particular. Un drenaje se forma cuando cierta área mínima drena a un punto. Si se asume que se requiere al menos un área de 25 km² (25000000 m²) para que se forme un drenaje, se puede calcular el número mínimo de celdas acumuladas requeridas para definir la existencia del drenaje así:

$$\# \text{ celdas} = \frac{\text{área mínima de drenaje}}{\text{área de un pixel del raster}} = \frac{25000000 \text{ m}^2}{27,34525239 \text{ m} \cdot 27,34525239 \text{ m}} = 33433$$

Se puede entonces crear un nuevo raster que muestre las celdas que tienen un área de acumulación de al menos 25 km² o, en otras palabras, celdas que sean drenadas por al menos 33433 celdas. Para crear este raster se usan las herramientas de análisis espacial así: Arc Toolbox / Spatial Analyst Tools / Map Algebra / Raster Calculator (ver Figura 15). El resultado de la operación algebraica es un nuevo ráster en el que las celdas que cumplen la condición tienen valor 1 y el resto de celdas tienen un valor nulo. El archivo de salida (output raster) se llama “streams” y debe almacenarse en la carpeta del proyecto. Una vez finalizada la acción, este nuevo ráster aparece en el panel izquierdo de Arc Map.

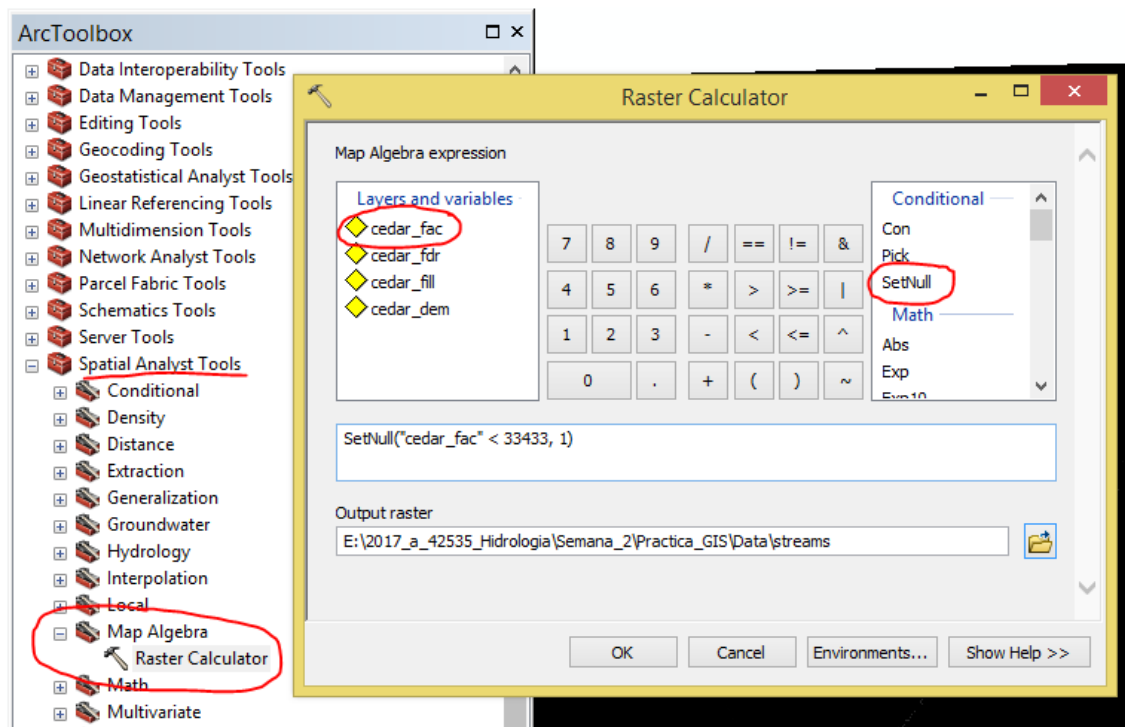


Figura 15. Generación de los drenajes (raster “streams”) a partir de operaciones algebraicas de mapas usando el menú de herramientas “Arc Toolbox” de ArcMap.

9. **Varias acciones - Creación de conexiones en la red de drenaje.** Con esta acción se busca asignar un número único a cada tramo o segmento del raster de drenajes “streams”. Para llevar a cabo esta tarea, se usan las herramientas de Hidrología (Arc Toolbox / Spatial Analyst Tools / Hydrology / Stream Link). Los insumos para esta función son el raster de drenajes (“streams”) y el raster de dirección de flujo (“cedar_fdr”), ver Figura 16. Una vez ejecutada la función se muestra el raster resultado denominado “str_link” en el panel izquierdo de Arc Map

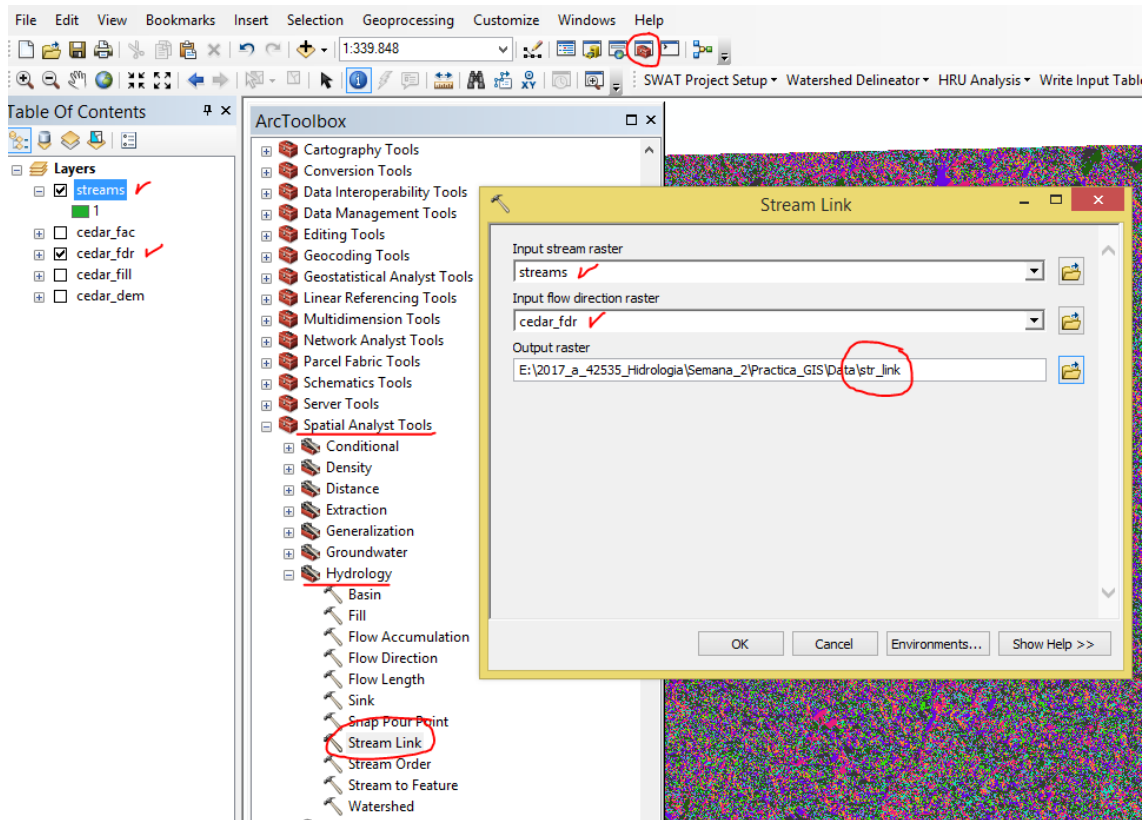


Figura 16. Generación de los identificadores únicos de los tramos o segmentos del raster “streams” usando el menú de herramientas “Arc Toolbox” de ArcMap.

10. **Varias acciones - Asignación de orden a los drenajes.** Con esta acción se asigna un orden a cada uno de los drenajes del raster “streams”. Para llevar a cabo esta tarea, se usan las herramientas de Hidrología (Arc Toolbox / Spatial Analyst Tools / Hydrology / Stream Order). Los insumos para esta función son el raster de drenajes (“streams”) y el raster de dirección de flujo (“cedar_fdr”). Dado que existen diferentes metodologías para la asignación del orden a los drenajes, el usuario puede seleccionar del menú desplegable para “Method of stream ordering”. Para este caso, se puede optar por el método de Strahler (método por defecto) (ver Figura 16). El resultado de esta acción es un nuevo raster (“str_order”) que aparece disponible en el panel izquierdo de Arc Map donde se pueden ver en diferentes colores los órdenes asignados a cada tramo. Para el caso de la cuenca cedar, el máximo orden es 4 (ver Figura 17).

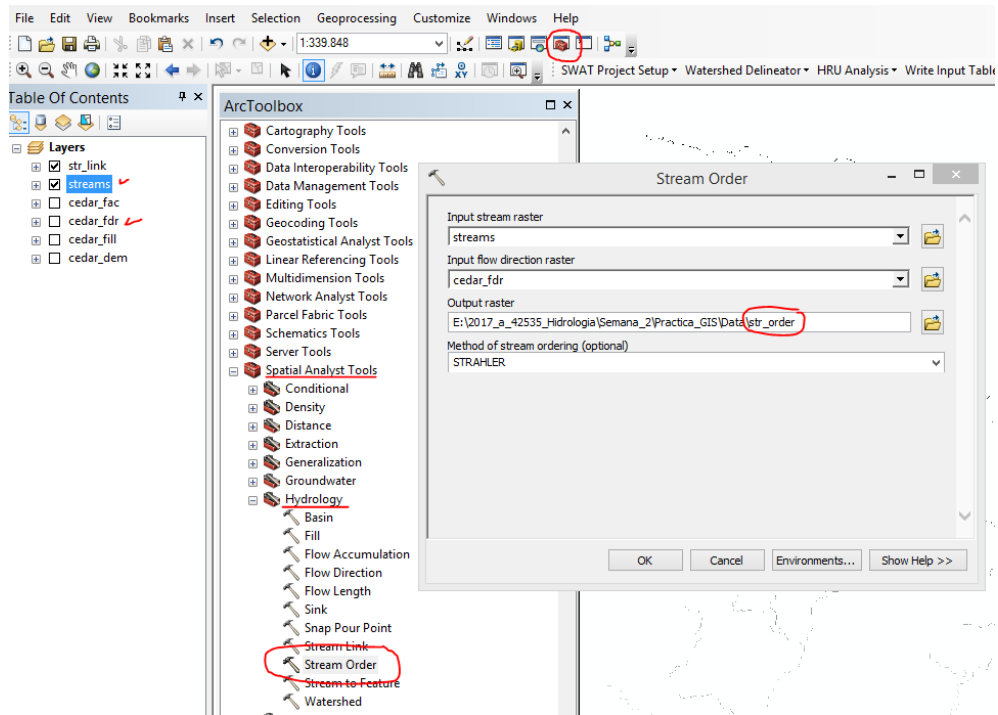


Figura 17. Asignación de orden a los drenajes de la cuenca Cedar usando el menú de herramientas “Arc Toolbox” de ArcMap.

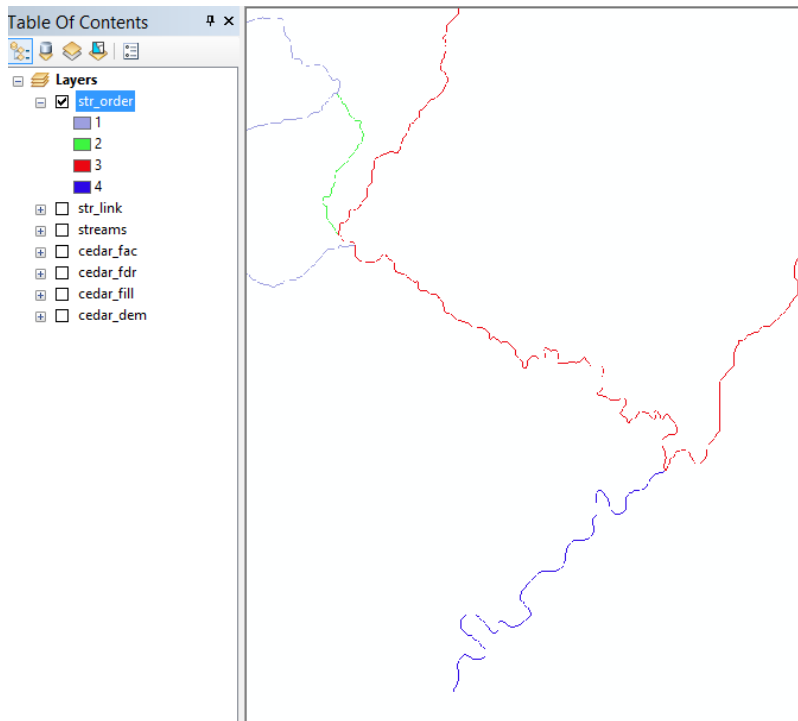


Figura 18. Asignación de orden a los drenajes de la cuenca Cedar usando el método de Strahler.

11. **Varias acciones – Conversión de formato raster a polilínea de los drenajes de la cuenca.** Dado que en algunas ocasiones es más conveniente trabajar con polilíneas que con archivos en formato ráster, las herramientas de Arc Toolbox nos permiten hacer esta conversión. Para llevar a cabo esta tarea, se usan las herramientas de Hidrología (Arc Toolbox / Spatial Analyst Tools / Hydrology / Stream to Feature). Los insumos para esta función son el raster de drenajes (“streams”) y el raster de dirección de flujo (“cedar_fdr”). El resultado de esta operación es un archivo de polilíneas (“stream”) que representan los drenajes de la cuenca en formato “.shp”. Esta acción puede ser aplicada a los rásters generados en los pasos 9 y 10 de este taller (Ver Figuras 19 y 20).

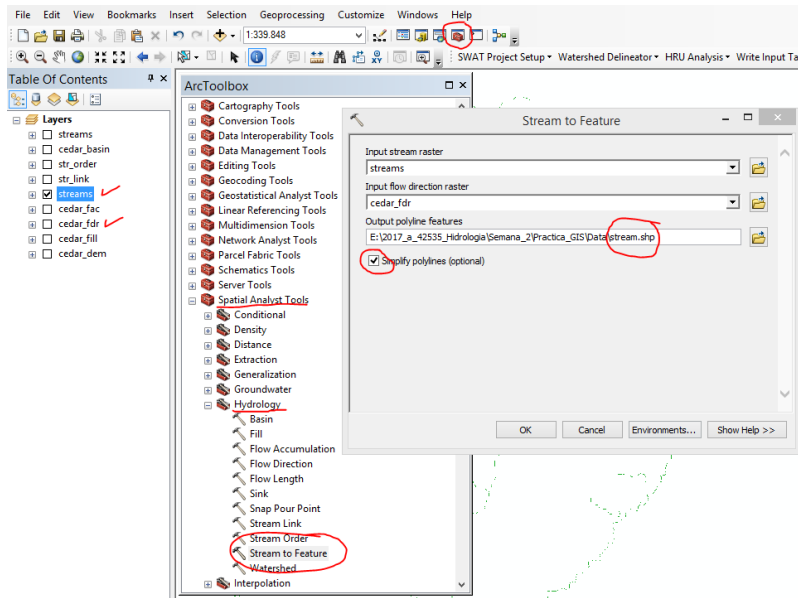


Figura 19. Generación de drenajes en formato de polilínea (.shp) usando el menú de herramientas “Arc Toolbox” de ArcMap.

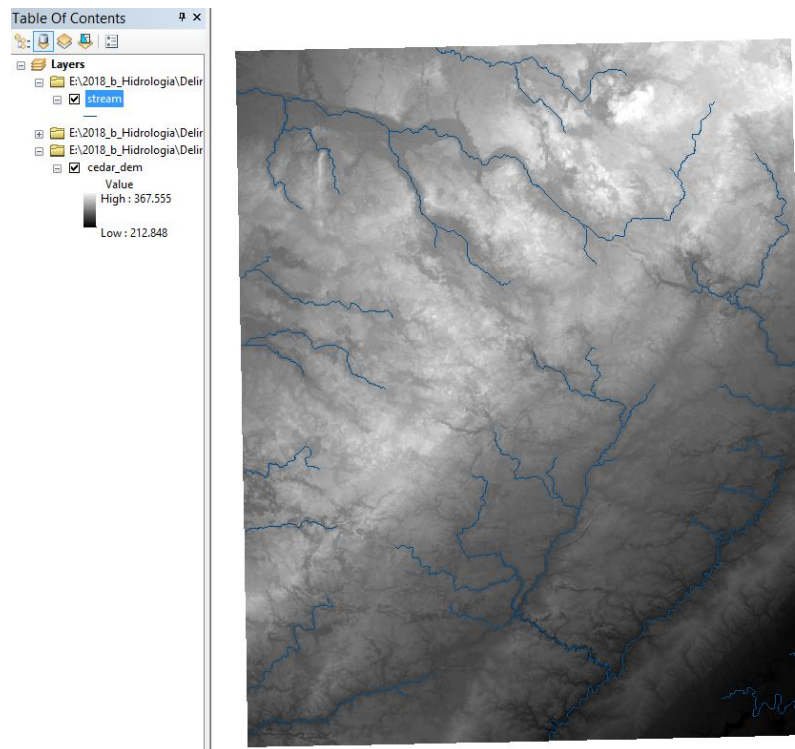


Figura 20. Drenajes de la cuenca Cedar en formato de polilínea (.shp).

12. **Varias acciones – Determinación de la longitud de drenaje.** Esta herramienta usa la dirección de flujo para calcular la distancia desde cada celda hasta el punto más alto o más bajo dentro de la cuenca. Para llevar a cabo esta tarea, se usan las herramientas de Hidrología (Arc Toolbox / Spatial Analyst Tools / Hydrology / Flow Length). El insumo para esta función es el raster de dirección de flujo (cedar_fdr) y el resultado es un nuevo raster cuyos valores de celdas representan la longitud de cada celda al punto más bajo (o más alto) del DEM. Para nuestro caso es hacia el punto más bajo (downstream), (ver Figura 21).

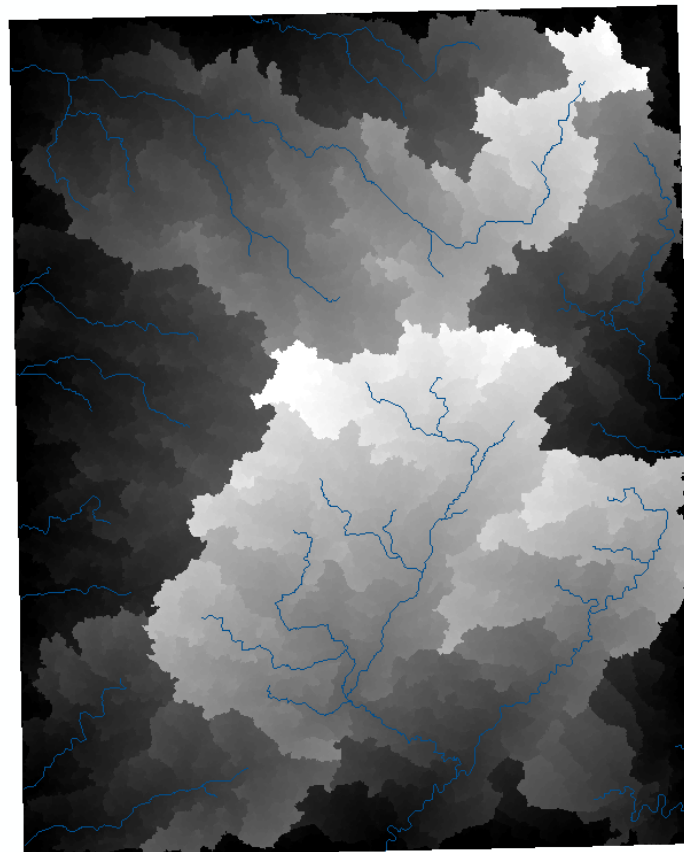
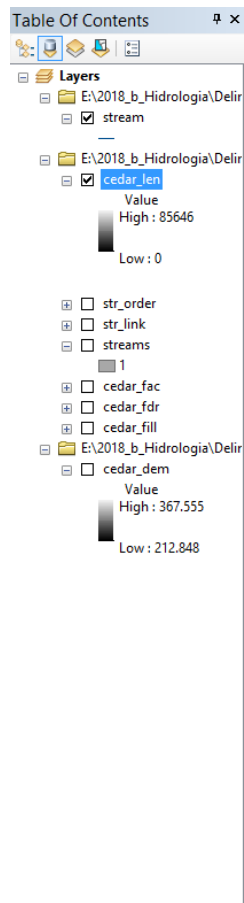
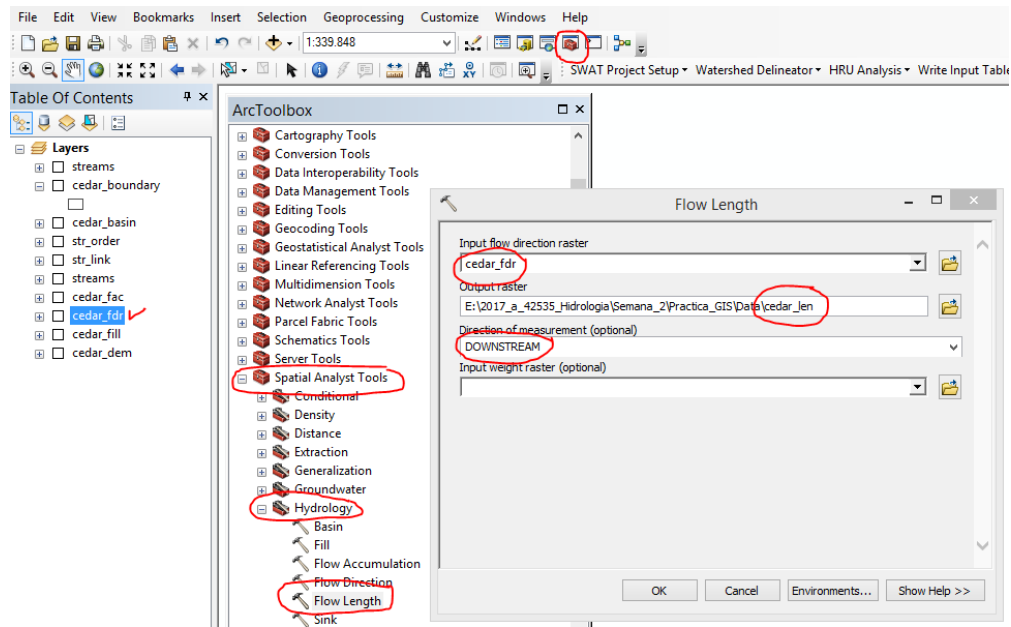


Figura 21. Determinación de las distancias de flujo desde cualquier celda al punto más bajo del DEM usando el menú de herramientas "Arc Toolbox" de ArcMap.

13. **Definición de celdas pertenecientes a la misma subcuena.** Esta herramienta usa el ráster de las direcciones de flujo para determinar las celdas que drenan a puntos comunes (celdas que pertenecen a las diferentes subcuenas). La función le asigna el mismo número a todas las celdas que pertenecen a una misma subcuena. El insumo para esta función es el raster de dirección de flujo (“cedar_fdr”) y se lleva a cabo usando las herramientas de Hidrología (Arc Toolbox / Spatial Analyst Tools / Hydrology / Basin) - Ver Figuras 22 y 23.

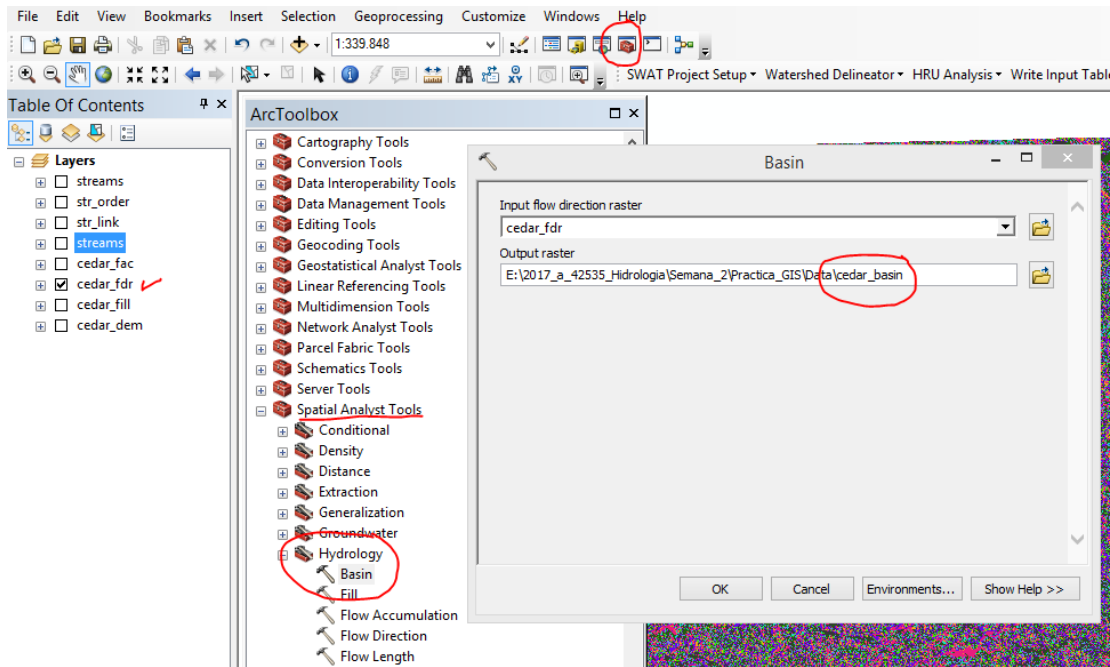


Figura 22. Definición de celdas pertenecientes a la misma subcuena usando el menú de herramientas “Arc Toolbox” de ArcMap.

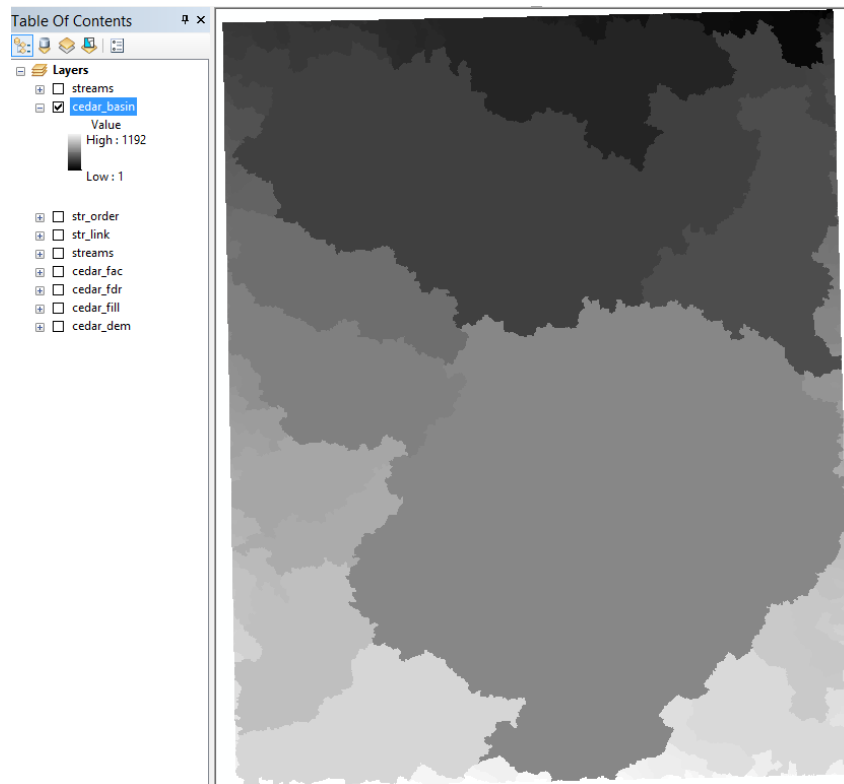


Figura 23. Ráster de subcuenas en la cuenca Cedar

14. **Creación de la divisoria de aguas para las subcuencas.** Una vez creadas las subcuencas en formato ráster, es posible generar polígonos que representan la divisoria de aguas para estas subcuencas. Esta acción se lleva a cabo usando las herramientas de conversión (Arc Toolbox / Conversion Tools / From Raster / Raster to Polygon). El insumo para esta función es el ráster de subcuencas generado en el ítem anterior “cedar_basin” y el producto es una familia de polígonos formados por polilíneas que representan la divisoria de aguas de las subcuencas (ver Figuras 24 y 25).

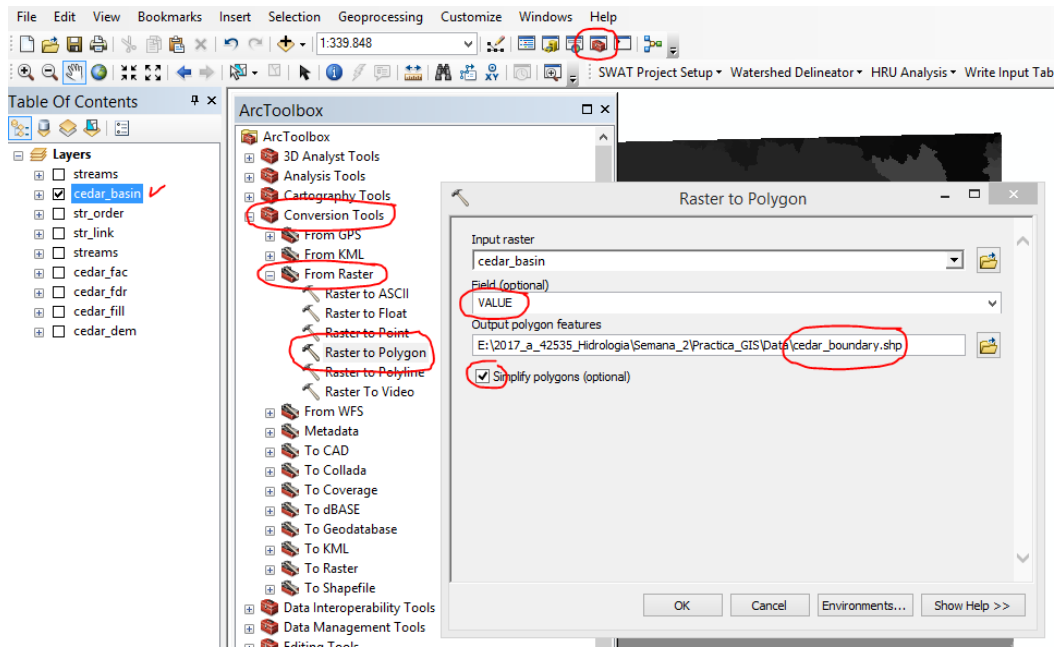


Figura 24. Creación de divisoria de aguas para las subcuencas usando el menú de herramientas “Arc Toolbox” de ArcMap.

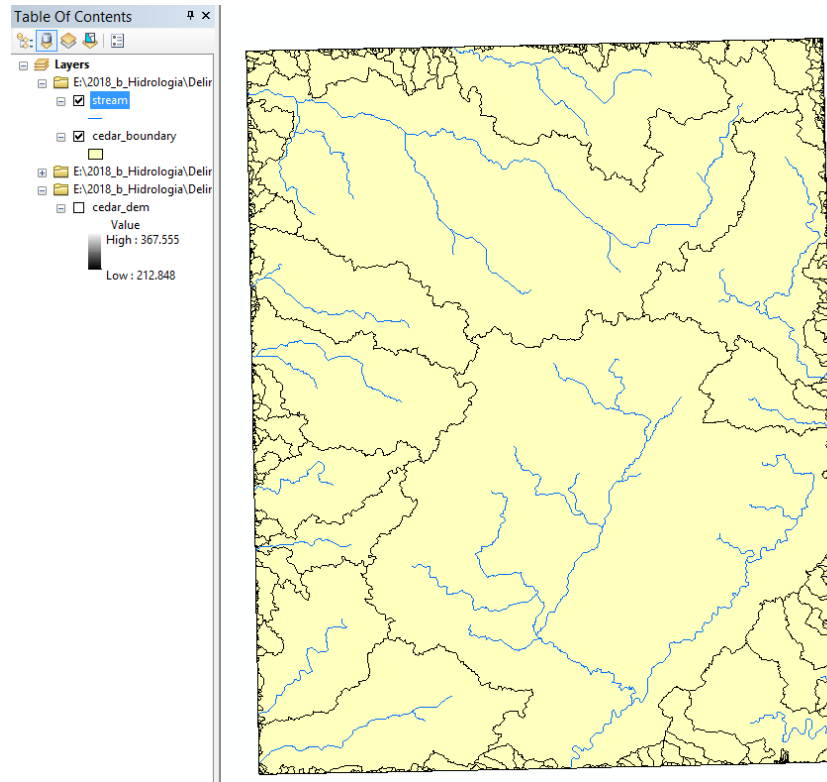


Figura 25. Subcuencas en la cuenca Cedar en formato “.shp” (polígonos).

15. **Delineación de cuencas o subcuencas a partir de un punto de interés.** Adicione el archivo de puntos “point.shp” al proyecto. Puede ver que los dos puntos de la capa están localizados sobre el cauce de drenajes dentro de la cuenca Cedar. La función “snap pour points” del paquete de Hidrología (Arc Toolbox / Spatial Analyst Tools / Hydrology / Snap Pour Point) asigna como puntos de vertido a las celdas de mayor acumulación de flujo que estén cercanas a los puntos de interés definidos (en nuestro caso mediante la capa de puntos “point.shp”). Los insumos para usar esta función son el archivo de puntos (“point.shp”) y el raster de acumulación de flujo (“cedar_fac”). La distancia “snap distance” se determina de acuerdo a la resolución del ráster y corresponde a la máxima distancia alrededor del punto de interés para la que se buscará una celda de máxima acumulación. Para este caso se define como 30 m (ver Figura 26). El resultado de esta operación es un nuevo raster que contiene solo las celdas del raster de acumulación de flujo que son más próximas a los puntos de interés y que representan el valor máximo de acumulación de flujo (para ver estas celdas hay que utilizar la herramienta de zoom).

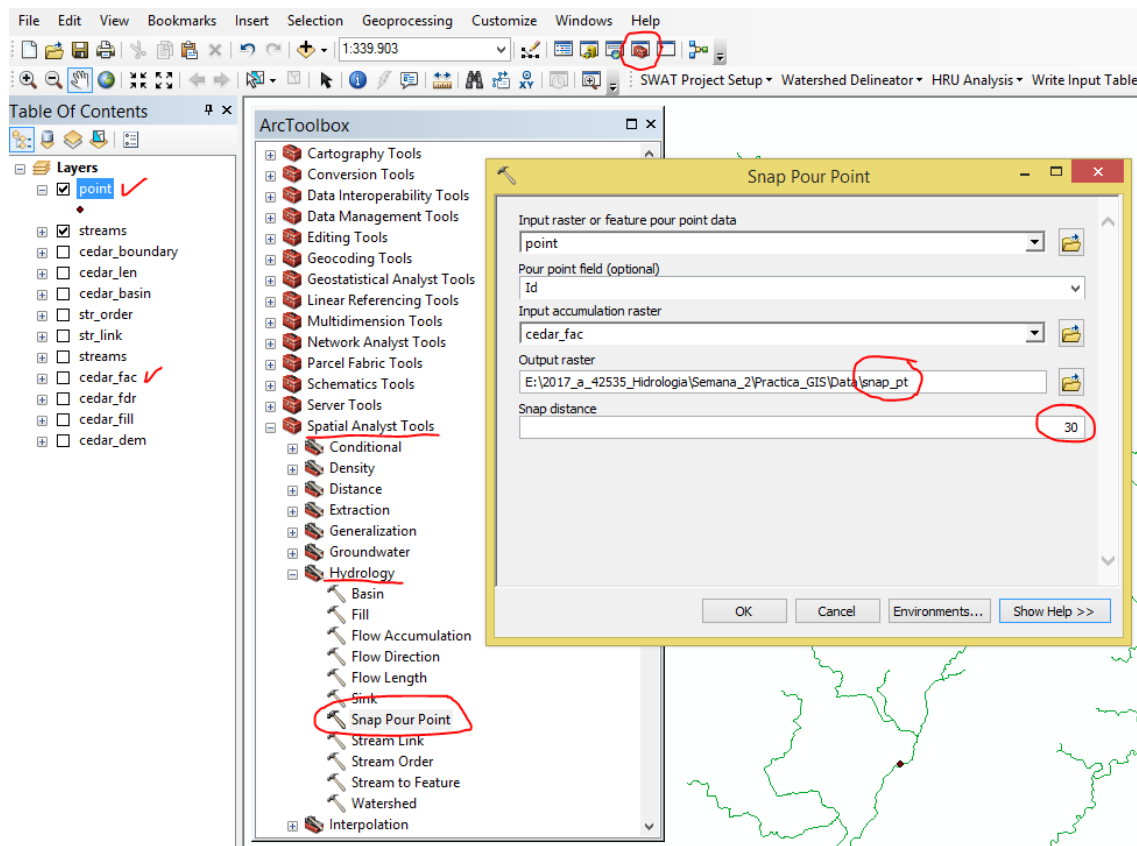


Figura 26. Creación del raster de puntos de vertido a partir del raster de acumulación de flujo usando el menú de herramientas “Arc Toolbox” de ArcMap.

A continuación, dentro del mismo set de herramientas de Hidrología, seleccione la función “Watershed” para definir las cuencas que vierten a los dos puntos de interés creados en el ítem anterior (ver Figura 27). El resultado de esta acción es un nuevo raster (“watersheds”) que contiene solo las subcuencas que drenan a los puntos de interés (ver Figura 28).

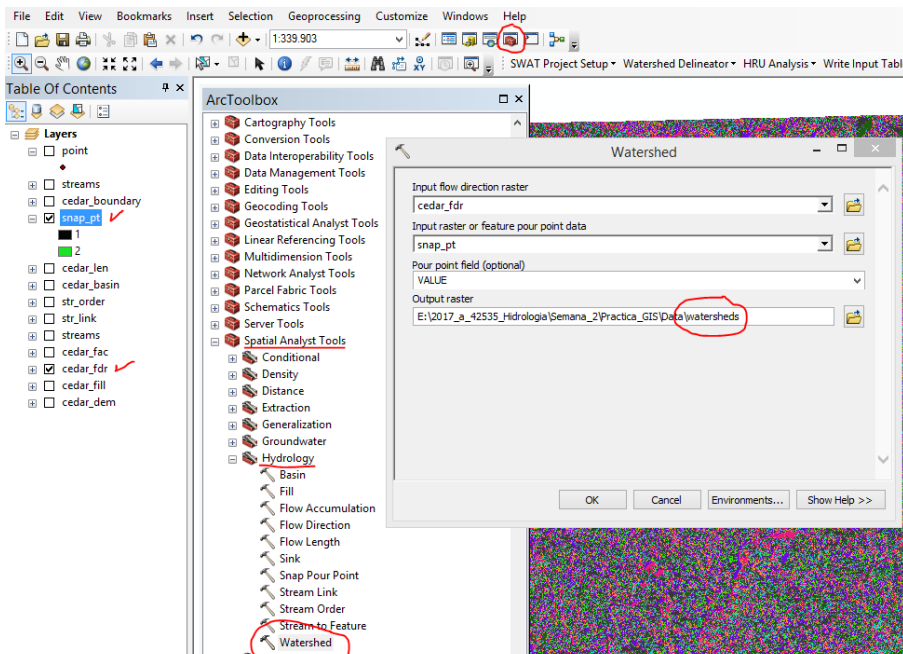


Figura 27. Creación de las cuencas que vierten a los puntos de interés definidos por el raster “snap_pt” usando el menú de herramientas “Arc Toolbox” de ArcMap.

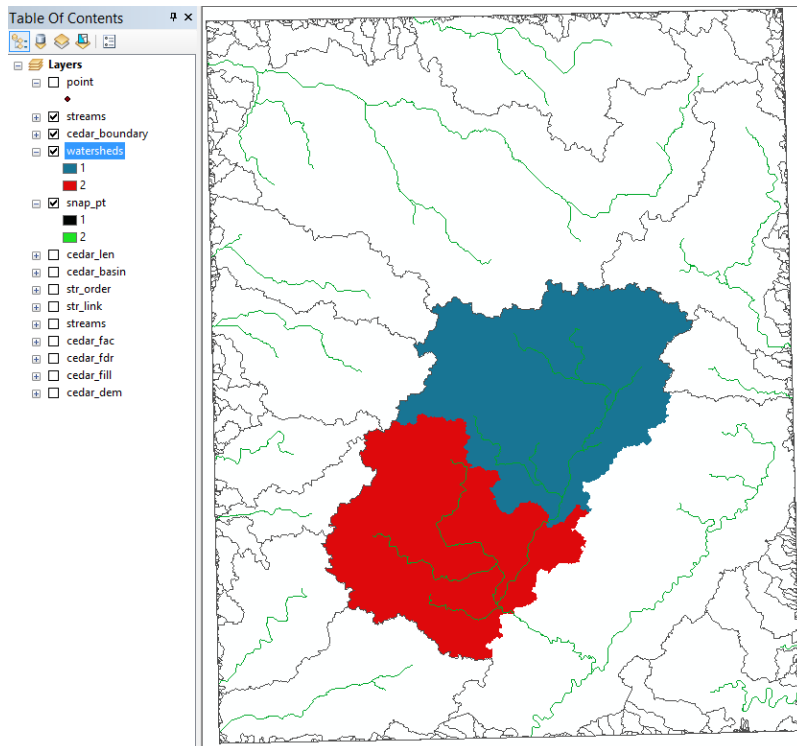


Figura 28. Creación de las cuencas que vierten a los puntos de interés definidos por el raster “snap_pt” usando el menú de herramientas “Arc Toolbox” de ArcMap.

Se pueden repetir los pasos del ítem 14 de este manual para crear los polígonos que delimitan las dos cuencas de interés a partir de los resultados del ítem anterior (ver Figuras 29 y 30).

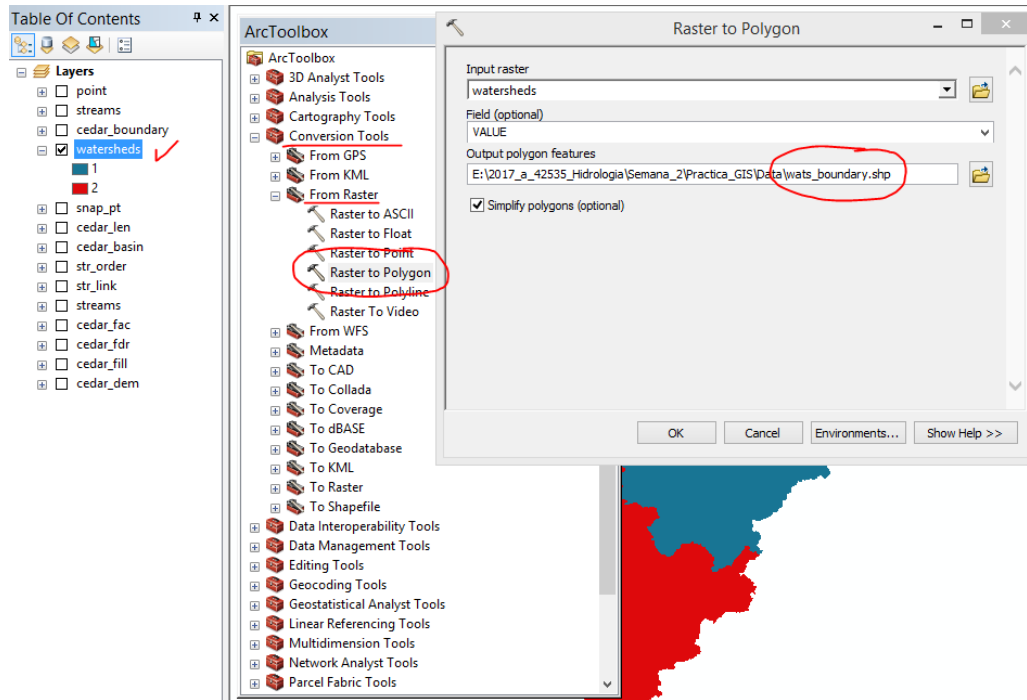


Figura 29. Creación de las cuencas que vierten a los puntos de interés definidos por el raster “snap_pt” usando el menú de herramientas “Arc Toolbox” de ArcMap.

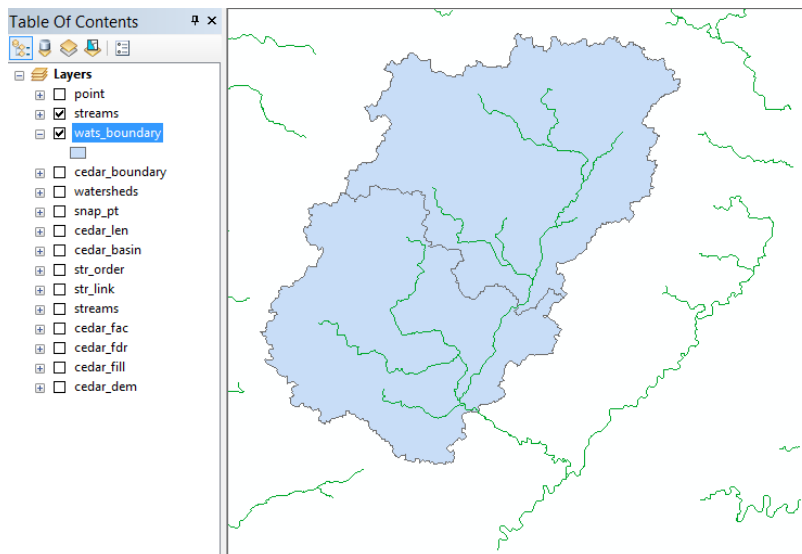


Figura 30. Polígonos (wats_boundary.shp) que delimitan las subcuencas de interés.

Términos Inglés/Español:

Fill: Rellenar

Stream link: vínculo de arroyo

Stream order: clasificación de arroyo

Stream to feature: De arroyo a entidad

Watershed: cuenca hidrográfica

Basin: cuenca

Snap pour point: ajuste de corriente.