

# **Caracterización Hidrológica de la Subcuenca del Rio de Oro Alto Como Base Para Modelamiento en HEC-HMS**

**Michel Bagos Ochoa**

**Teylar Alfonso Hurtado Arciniegas**

**Trabajo de grado para optar el título de ingeniero civil**

**Director**

**Walter Leonard Antolinez Quijano**

**Ingeniero Civil, M Sc.**

**Universidad Industrial de Santander**

**Facultad de Ingenierías Fisico-Mecanicas**

**Escuela de Ingeniería Civil**

**Bucaramanga**

**2017**

## **Agradecimientos**

**Le agradezco primero que todo a Dios por haberme permitido realizar con satisfacción esta meta.**

**Le doy gracias a mis padres Herlinda Arciniegas y Alfonso Hurtado por su ayuda y apoyo incondicional, a mi hermana Karen Melissa ella me demostró que cuando uno se esfuerza y se sacrifica todo se puede lograr y a mi nonita Odilia Reyes por su amor y cariño en todo momento sin su ayuda no hubiese podido terminar este ciclo de mi vida y por ustedes soy la persona que soy.**

**A mis amigos de la universidad por su compañía, respeto y conocimiento adquirido en mi instancia en la vida universitaria.**

**A los señores Jorge Ernesto Sierra y Cecilia Galvis porque durante mi estadía en la ciudad me recibieron en su casa como un miembro más de su familia y me apoyaron mucho.**

**A la señora Ana Gamboa y su familia quienes desde que inicie mi vida en la universidad estuvieron ahí para apoyarme y animarme en todo momento.**

**A nuestro director el ingeniero Walter Antolinez por su apoyo y paciencia en la realización de este proyecto de grado.**

**Muchísimas gracias a todos ustedes, Teylar Alfonso Hurtado Arciniegas**

## Tabla de Contenido

Introducción	12
1. Marco Teórico	16
1.1 Las Cuencas Hidrográficas	16
1.1.1 Características Físicas de la Subcuenca	16
1.1.2 Parámetros Geomorfológicos de la Subcuenca	16
1.1.3 Parámetros de Relieve	19
1.2 Sistemas de Información Geográfica	22
1.3 Descripción del Software	23
2. Justificación del Proyecto	25
3. Calculo de los Parámetros de la Subcuenca	26
3.1 Delimitación de la Subcuenca	26
4. Evaluación de los Parámetros Requeridos por el HEC-HMS	28
5. Resultados	32
6. Conclusiones y Observaciones	34
Referencias	36
Bibliografía	37
Anexos	38

## **Lista de tablas**

TABLA 1. Resultados parámetros morfométricos para la CSRO

31

## **Lista de figuras**

Figura 1. Localización general de la cuenca superior del Rio de Oro	12
Figura 2. Límites de la Subcuenca del Rio de Oro	13
Figura 3. DEM obtenido del satélite ASTER	13
Figura 4. Esquema típico del proceso de escorrentía de una cuenca en HEC-HMS	24
Figura 5. Subcuenca delimitada	27
Figura 6. Parámetros necesarios de la morfometría de la Subcuenca para HEC-HMS	29
Figura 7. Métodos de estimación del proceso de transformación de lluvia en escorrentía	30
Figura 8. Numero de orden	32
Figura 9. Curva hipsométrica	33

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A. Funcionamiento de un SIG	38
ANEXO B. Localización de todos los puntos de la red hídrica	39
ANEXO C. Mapa de uso de suelos	40
ANEXO D. Subcuenca delimitada	41
ANEXO E. Tutorial para realizar la delimitación y calcular parámetros morfométricos de una cuenca	42
ANEXO F. Clasificación de las áreas de las cuencas	110
ANEXO G. Utilidad de la curva hipsométrica	111

## RESUMEN

**TITULO:** CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO DE ORO ALTO COMO BASE PARA MODELAMIENTO EN HEC-HMS. \*

**AUTOR:** MICHEL BAGOS OCHOA  
TEYLAR ALFONSO HURTADO ARCINIEGAS \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Cuencas Hidrográficas, Arcgis, Características Morfométricas, Río de Oro, Satélite Aster, DEM.

La caracterización de una cuenca hidrográfica está dirigida a cuantificar los parámetros que describen su estructura física y territorial con el fin de establecer las posibilidades y limitaciones de sus Recursos Naturales pero también para identificar los problemas presentes y potenciales. El uso de herramientas computacionales facilita la caracterización de una cuenca, permitiendo conocer a largo plazo el comportamiento de la misma ante eventos de máximas precipitaciones. Arcgis es el software utilizado para la elaboración de este proyecto y el área de estudio para aplicar dicha herramienta computacional en la caracterización de una cuenca es la Subcuenca del Río de Oro Alto, el cual hace parte de la cuenca del Río de Oro – Santander-. Se propuso, como un primer paso para el desarrollo del proyecto, la obtención de un Modelo de Elevación Digital (DEM) de la National Aeronautics and Space Administration (NASA), del conocido satélite ASTER. Con la Subcuenca localizada y definida se calcularon las características físicas, parámetros geomorfológicos y parámetros de relieve, usando las herramientas proporcionadas por Arcgis. Luego, se identificó cuáles parámetros de la cuenca son requeridos por el software HEC-HMS, de tal manera que a futuro se pueda desarrollar un modelo de simulación tipo lluvia escurrentía. La caracterización de la cuenca mostró que la zona de estudio es de área pequeña, presenta una pendiente con terreno accidentado o montañoso, la Subcuenca es alargada, irregular y presenta fuertes relieves y pendientes pronunciadas. También se encontró que la Subcuenca es perenne ya que transporta agua todo el año, es un río de transición y con velocidades moderadas y de alta sinuosidad.

---

\*Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil.  
Director: Msc Walter Leonard Antolinez Quijano.

## ABSTRACT

**TITLE:** HYDROLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE SUB-BASIN OF THE RIO DE ORO AS BASED FOR MODELING IN HEC-HMS. \*

**AUTHORS:** MICHEL BAGOS OCHOA  
TEYLAR ALFONSO HURTADO ARCINIEGAS \*\*

**KEYWORDS:** basins behavior, Arcgis, characteristics morphometric, Rio de Oro, Aster Satellite, DEM.

The characterization of a watershed is aimed at quantifying the parameters that describe its physical and territorial structure in order to establish the possibilities and limitations of its Natural Resources but also to identify the present and potential problems. The use of computational tools facilitates the characterization of a basin, allowing to know in the long term the behavior of the same to events of maximum rainfall. Arcgis is the software used for the development of this project and the area of study to apply this computational tool in the characterization of a basin is the Rio Alto Oro Sub-basin, which is part of the Rio de Oro -Santander-. It was proposed as a first step for the development of the project, obtaining a Digital Elevation Model (DEM) from the National Aeronautics and Space Administration (NASA), the well-known ASTER satellite. With the localized and defined Sub-basin, the physical characteristics, geomorphological parameters and relief parameters were calculated using the tools provided by Arcgis. Then, it was identified which basin parameters are required by the HEC-HMS software, so that a rainfall runoff simulation model can be developed in the future. The characterization of the basin showed that the study area is of small, presents a slope with uneven or mountainous terrain, the Sub-basin is long, irregular and has strong reliefs and steep slopes. It was also found that the Sub-basin is perennial since it transports water all year, is a transition river and with moderate speeds and high sinuosity.

---

\*Proyecto de Grado

\*\* Physical Mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering School. Director: Msc Walter Leonard Antolinez Quijano.



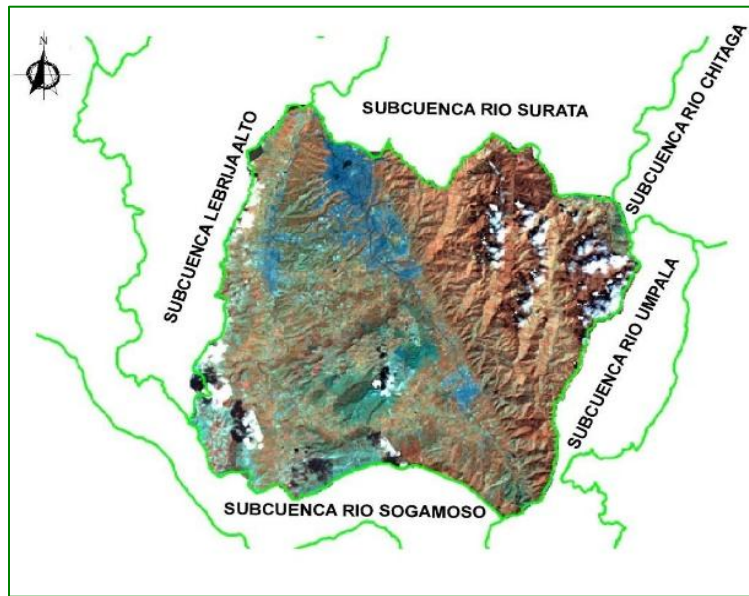


Figura 2. Límites de la Subcuenca Río de Oro / Adaptado de: <http://mail.cdmb.gov.co/ciaga/documentosciaga4/EstudioAmbientalsubriodeoro.pdf>.

El estudio de esta caracterización nace a partir de cuatro imágenes o DEM – Modelo Digital de Elevaciones, tomado de la NASA; con la ayuda del satélite ASTER (Ver Figura 3).

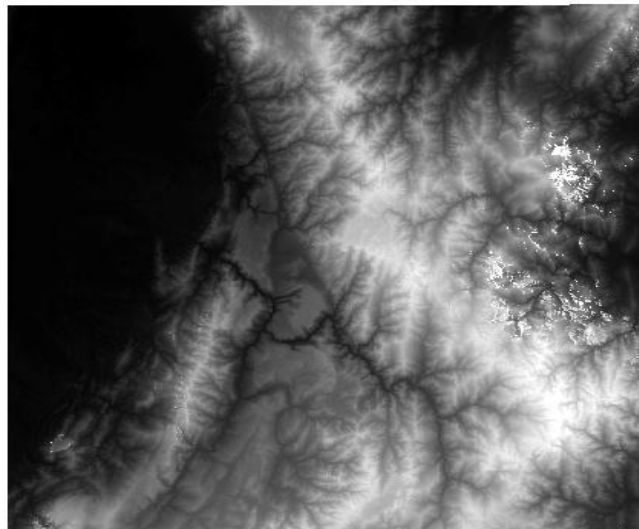


Figura 3. DEM obtenido del Satélite ASTER / adaptado de: modificado por los autores

Para poder hallar las características morfométricas de la Subcuenca; se procedió a utilizar las herramientas del software Arcgis sobre el Modelo

Digital, logrando así identificar y demarcar el área de estudio a evaluar. (Subcuenca Río de Oro).

Esta Subcuenca es la que más recursos hídricos tiene; al abastecer de agua a los municipios de Piedecuesta y Floridablanca.

Teniendo calculados los parámetros morfométricos de la Subcuenca, se procede a identificar cuáles de dichos parámetros requiere o necesita el programa HEC-HMS para diseñar el modelo.

EL programa HEC-HMS; es el encargado de hacer las simulaciones de modelos lluvia escorrentía con el fin de determinar la circulación de estas aguas producto de las precipitaciones, sus afluentes de manera pues que faciliten la evaluación de proyectos de ingeniería civil en todas sus áreas.

## **Objetivo General**

Realizar la caracterización morfométrica de la cuenca Río de Oro como base para un modelo lluvia escorrentía en HEC-HMS.

## **Objetivos Específicos**

- Realizar la delimitación de la cuenca en ARCGIS.
- Obtener parámetros morfométricos de la cuenca usando las herramientas Hydrotools de ARCGIS.
- Evaluar los parámetros morfométricos de la cuenca requeridos por el software HEC-HMS.

## 1. Marco teórico

### 1.1 Las cuencas hidrográficas

Se llama cuenca hidrográfica a un territorio drenado por un único sistema de drenaje natural. En otras palabras, desagua al mar por medio de un único río (Cahuana, A., Yugar, W., 2009, p. 17-36).

Se llama características morfológicas a aquellas que generan gran influencia sobre su comportamiento hidrológico, hidráulico e hidrodinámico. De igual forma, incide sobre la escorrentía superficial, la erosión de laderas y el transporte de sedimentos. Existen varios parámetros para cuantificar la morfología los cuales se dividen en:

#### 1.1.1 Características físicas de la subcuenca.

*Área de la cuenca:* es la superficie encerrada por la línea divisoria de aguas. Dicha área es medida en kilómetro cuadrado.

*Perímetro:* Es la longitud del contorno de la cuenca.

#### 1.1.2 Parámetros geomorfológicos de la subcuenca.

*Índice de gravelius (Ic):* permite relacionar el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de área equivalente al de la cuenca, dicho índice es adimensional.

$$Ic = \frac{P}{Po} = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi * A}} = 0.282 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Donde:

A= área de la Subcuenca [km<sup>2</sup>].

P= perímetro de la Subcuenca [km].

*Factor de forma (Ff):* es un factor adimensional que indica cómo regular la concentración del escurrimiento superficial.

$$Ff = \frac{A}{Lc^2} \quad (2)$$

Donde:

A= área de la Subcuenca [km<sup>2</sup>].

Lc= Longitud de la cuenca. Se define como la distancia entre la salida y el punto más alejado, cercano a la cabecera del cauce principal. Medida en línea recta.

El *ancho medio* está definido por la relación:

$$Bm = \frac{A}{Lc} \quad (3)$$

Donde:

A= área de la Subcuenca [km<sup>2</sup>].

Lc=Longitud de la cuenca. Se define como la distancia entre la salida y el punto más alejado, cercano a la cabecera del cauce principal. Medida en línea recta.

*Coefficiente de forma (Kf)*: Relación entre la anchura media Bm de la cuenca y la longitud media (Lmc):

$$Kf = \frac{Bm}{L} \quad (4)$$

Donde:

Bm= ancho medio [km].

Lc=Longitud de la cuenca. Se define como la distancia entre la salida y el punto más alejado, cercano a la cabecera del cauce principal, medida en línea recta.

*Relación de elongación (Re)*: Es la relación entre el diámetro de un círculo (D) de área igual a la cuenca y la longitud de la cuenca (Lc).

$$Re = \frac{D}{Lc} \quad (5)$$

Expresando el diámetro en función del área de la cuenca (A) tenemos:

$$Re = 1.1284 * \frac{\sqrt{A}}{Lc} \quad (6)$$

Donde:

A= área de la Subcuenca [km<sup>2</sup>].

Lc=Longitud de la cuenca. Se define como la distancia entre la salida y el punto más alejado, cercano a la cabecera del cauce principal, medida en línea recta.

Si Re varía entre 0.60 y 1.00 cuenta con amplia variedad de climas y geologías. En cambio, si Re que varía de 0.60 a 0.80 está asociado a fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno.

*Relación de circularidad (Rci):* denominado también como radio de circularidad, es el cociente entre el área de la cuenca (A) y la del círculo cuyo perímetro (P) es igual al de la cuenca:

$$Rci = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (7)$$

Donde:

A= área de la Subcuenca [km<sup>2</sup>].

P= perímetro de la Subcuenca [km]

El rectángulo equivalente es una transformación geométrica que permite representar a la cuenca de su forma heterogénea. Con la forma de un rectángulo tiene la misma área y perímetro (mismo índice de compacidad). Igual distribución de alturas (igual curva hipsométrica) e igual distribución de terreno en cuanto a sus condiciones de cobertura. En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estos lados la primera y última curva de nivel.

*Longitud axial*: distancia existente entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca. Es el mismo eje de la cuenca.

*Ancho promedio (Bm)*: refiere a la relación entre la superficie de la cuenca y la longitud axial.

*Curva hipsométrica*: Es la representación gráfica del relieve de una cuenca. Es decir, la curva hipsométrica indica el porcentaje de área de la cuenca o superficie en Km<sup>2</sup>, el cual existe por encima de una cota determinada representado en coordenadas rectangulares.

### 1.1.3 Parámetros de Relieve.

Para describir el relieve de una cuenca existen numerosos parámetros que han sido desarrollados por varios autores. Entre los más utilizados se cuentan: pendiente de la cuenca, índice de pendiente, curvas Hipsométricas, histograma de frecuencias altimétricas y relación de relieve.

*Pendiente de la cuenca*: la pendiente media de la cuenca tiene una importante pero compleja relación con la infiltración: el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces. Es uno de los factores físicos que controlan el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas.

$$Pendiente = \frac{Cota Mayor - Cota Menor}{Longitud de la Cuenca} \quad (8)$$

*Relación de relieve*: es la relación entre la diferencia de altura entre la salida de la cuenca y el punto más alto en la divisoria de la cuenca (h): la longitud de la cuenca (L):

$$Rr = \frac{h}{L} \quad (9)$$

*Tiempo de concentración*: se define como el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, en el que toda la hoya contribuya al sitio de la obra de drenaje en consideración, en otras palabras, el tiempo que toma el agua

desde los límites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de la misma (Bolaños, A., Flores, J., 2009, p. 2-2:2-4).

En general, el tiempo de concentración se calcula por medio de ecuaciones empíricas, dentro de las cuales se cuentan las siguientes:

$$KIRPICH: T_c = 0.06628 * \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77} \quad (11)$$

Donde:

T<sub>c</sub>=tiempo de concentración [h].

L= longitud del cauce principal [km].

S=Pendiente entre las elevaciones máxima y mínima (pendiente total) del cauce principal, en metros por metro (m/m).

$$TEMEZ: T_c = 0.30 * \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (12)$$

Donde:

T<sub>c</sub>=tiempo de concentración [h].

L= longitud del cauce principal [km].

S=Pendiente del cauce principal [%].

$$JOHNSTONE Y CROSS: T_c = 2.6 * \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.5} \quad (13)$$

Donde:

T<sub>c</sub>=tiempo de concentración [h].

L= longitud del cauce principal [km].

S= Pendiente del cauce principal [m/km].

$$GIANDOTTI: T_c = \frac{4A^{0.5} + 1.5L}{23.5(LS)^{0.5}} \quad (14)$$

Donde:

Tc=tiempo de concentración [h].  
L= longitud del cauce principal [km].  
S=Pendiente del cauce principal [m/m].  
A= área de la Subcuenca [km<sup>2</sup>].

$$SCS - RANSER: T_c = 0.947 * \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (15)$$

Donde:

Tc=tiempo de concentración [h].  
L= longitud del cauce principal [km].  
H=Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente principal [m].

$$VENTURA - HERAS: T_c = 0.30 * \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.75} \quad (16)$$

Donde:

Tc=tiempo de concentración [h].  
L= longitud del cauce principal [km].  
S= pendiente del cauce principal [%].

$$V.T.CHOW: T_c = 0.273 * \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.64} \quad (17)$$

Donde:

Tc=tiempo de concentración [h].  
L= longitud del cauce principal [km].  
S=pendiente del cauce principal [m/m].

*Sinuosidad del cauce principal:* refiere a la relación que existe entre la longitud del cauce principal (Lc) y la longitud del valle del cauce principal medida en línea recta o curva, Lt.

$$Si = \frac{Lc}{Lt} \quad (18)$$

*Densidad de drenaje:* Horton (1945) definió la densidad de drenaje de una cavidad como el cociente entre la longitud total (Lt) de los cauces pertenecientes a su red de drenaje y la superficie de la cuenca (A):

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (19)$$

*Constante de estabilidad de río:* La constante de estabilidad de un río, es el valor inverso de la densidad de drenaje:

$$C = \frac{A}{Lt} = \frac{1}{Dd} \quad (20)$$

## 1.2 Sistemas de información geográficas

Es la integración organizada de hardware, software y datos geográficos. Diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de la planificación y gestión (SIG, s.f.) (Ver Anexo 1).

Uno de los programas que usa el SIG para delimitar cuencas es el Arcgis, para eso necesita las curvas de nivel del sitio que contenga el área de estudio. Luego, este por medio de sus herramientas realiza los cambios necesarios correspondientes para su respectivo análisis y posteriormente obtener los resultados esperados.

Ya obtenidas las curvas de nivel se usa la herramienta *draw* para dibujar un rectángulo de la zona de estudio, después con la herramienta *clip* que sirve para realizar un recorte se hace de tal forma que los elementos que no estén dentro del rectángulo dibujado desaparezcan o se eliminen, luego, se crea un *tin* o MDT (modelo digital del terreno) para después transformarlo en un archivo de formato raster. Este tipo de archivo es una imagen a blanco y negro donde el color blanco indica las zonas de mayor altitud. Seguido a esto se usa la herramienta *fill* que consiste en rellenar las imperfecciones existentes en la superficie del modelo digital de elevaciones (DEM) de tal forma que estas

imperfecciones alcancen el nivel del terreno de alrededor, con el fin de poder hallar de forma adecuada la dirección de flujo.

Hecho el *fill* se busca la herramienta *flow direction* la cual indica hacia dónde va el flujo de agua, después se usa el *flow Accumulation* para saber cómo es el recorrido o trayecto de la red hídrica. En este *flow accumulation* las celdas o pixel del DEM que se observan en color blanco indica que son celdas con mayor flujo de agua, estas son las que se consideran o que representan la red de drenaje. Luego se usa el *stream definition* que consiste en definir o crear la red de corrientes a partir del flujo acumulado, después con la herramienta *stream order* se podrá saber el orden de las corrientes.

Teniendo el archivo del orden de las corrientes se usa la herramienta *feature vertice to point*, la cual permite determinar los puntos donde se cortan cada uno de los drenajes, es decir, convierte los vértices en puntos, así se podrá observar el punto inicial, la mitad o el final de cada uno de los tramos (Ver anexo 2), para este caso es de gran interés los finales porque es ahí donde hay acumulación de flujo y es clave para realizar la delimitación de la cuenca, se crea un archivo de formato shapefile de tipo punto para la obtención de la cuenca de interés y que será la zona a estudiar, se edita este punto y finalmente con la herramienta *watershed* teniendo el punto editado el programa realiza la delimitación de la cuenca.

De esta forma ArcGis, a partir de un modelo digital de elevación del área de estudio, permite delimitar una cuenca hidrológica y, de igual forma, con el uso de las respectivas herramientas se pueden calcular algunas características morfométricas tales como: pendiente, área, perímetro, etc.

### **1.3 Descripción del software HEC-HMS.**

El sistema de modelado hidrológico (HEC-HMS) está diseñado para simular el proceso de lluvia a escorrentía. Fue creado en 1992 a partir de una actualización del HEC-1 (Estándar simulación Hidrológica). El programa permite resolver el mayor número posible de problemas hídricos; para una amplia gama de áreas geográficas. A su vez produce Hidrogramas que junto con otros programas ayuda a los diferentes estudios; tales como: Disponibilidad de agua, drenaje urbano, flujo de predicción, futura urbanización, impacto, reservorio, aliviadero de diseño, reducción de daños

por inundación, llanura de inundación regulación y operación de los sistemas entre otros.

El sistema de modelado puede representar muchas cuencas diferentes. El modelo de la cuenca se construye separando el ciclo del agua en trozos manejables y la construcción de límites en torno a la cavidad de interés. Cualquier masa o energía de flujo en el ciclo entonces se puede representar con un modelo matemático.

Cada modelo matemático incluido en el programa es adecuado en entornos y condiciones diferentes. Hacer la elección correcta requiere el conocimiento de la zona, los objetivos del estudio hidrológico, y los conocimientos fundamentales de la ingeniería civil. (Anexo 3: Mapas del Uso de Suelos).

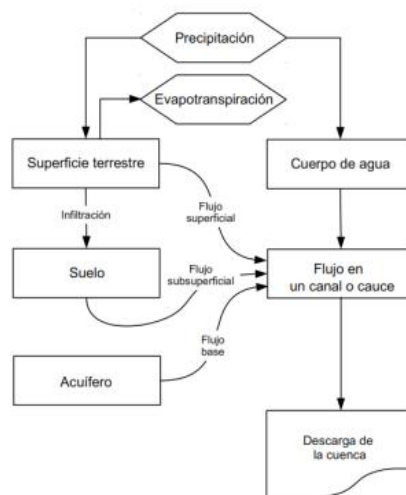


Figura 4. Esquema Típico del Proceso de Escorrentía de una Cuenca en HEC-HMS / Adaptado de:

[http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6148/Analisis\\_Hidrologico\\_Cuena\\_Rio\\_Toyogres\\_Modelo\\_HEC\\_HMS.pdf?sequence=1](http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6148/Analisis_Hidrologico_Cuena_Rio_Toyogres_Modelo_HEC_HMS.pdf?sequence=1).

Teniendo conocimiento de las capacidades que tiene el programa, se buscó información necesaria sobre los parámetros morfométricos que requiere o necesita el programa para realizar modelos de lluvia-escorrentía. Dicha búsqueda arrojó los siguientes resultados:

Existen 5 grupos básicos de información que deben suministrarse a HEC-HMS para efectuar las simulaciones (Información requerida por el programa, s.f):

- Información acerca de la precipitación histórica o de diseño.
- Información acerca de las características del suelo.
- Información morfométrica de las subcuencas.
- Información hidrológica del proceso de transformación de lluvia en escorrentía.
- Información hidráulica de los tramos de canal y de las capacidades de los embalses (métodos de tránsito).

Para la calibración, validación y análisis de sensibilidad del modelo, además de la información anterior, se necesita:

- Registros concordantes de precipitación y caudales de salida (hietogramas e hidrógrafas).
- Determinación de las condiciones iniciales de humedad en los suelos.

## **2. Justificación del proyecto**

Las cuencas hidrográficas son zonas en riesgo de sufrir inundaciones, erosiones de tierra, entre otras, entonces, el gran interrogante a resolver sería ¿Qué importancia tiene caracterizar una cuenca?

La caracterización de una cuenca está dirigida fundamentalmente a cuantificar todos los parámetros que describen su estructura física y territorial con el fin de establecer las posibilidades y limitaciones de sus Recursos Naturales pero también para tener un mejor conocimiento de cómo respondería ante eventos de la naturaleza.

Es de gran importancia conocer las características morfométricas de una Subcuenca porque sabiendo de ellas podemos observar qué tipo de Subcuenca es: su forma, conocer el área, su perímetro, pendientes, entre otras más, con el fin de saber cómo es su comportamiento ante un evento de lluvia máxima.

“La Subcuenca del Río de Oro se constituye en el área de mayor oferta de recursos y servicios ambientales para el Área Metropolitana de Bucaramanga. Particularmente en lo que tiene que ver con abastecimiento de agua potable para los municipios de Piedecuesta y Floridablanca. Es despensa de productos agrícolas y pecuarios del área metropolitana. De otra forma, debido a los

variados contrastes geomorfológicos del territorio, la Subcuenca del Río de Oro se constituye en el principal escenario turístico y recreativo de sus habitantes, los cuales constituyen más del 40% de la población total del departamento.”(CDMB, 2005, p. 3).

### **3. Calculo de los parámetros morfométricos de la Subcuenca**

#### **3.1 Delimitación de la subcuenca**

Para el desarrollo de esta primera parte se obtuvo un DEM (modelo digital de elevaciones) por medio de la NASA a través del satélite ASTER. Estas imágenes vienen con un tamaño del pixel de 30m (Satélite Aster, 2011, p. 5), es decir, con una escala de 1:30000. Luego se habilita el software ArcGis para poder visualizar dichas imágenes descargadas. Éstas aparecen desordenadas, entonces, por medio de una de las herramientas del programa llamada *Mosaic To New Raster*, se unen para tener una mejor perspectiva de dichas imágenes, es decir, que se pueda ver el área de estudio.

Debido a que la zona de estudio es tan pequeña y el DEM es muy grande, fue necesario hacerle un recorte usando la herramienta *Clip*, de tal forma que dicha área sea mucho más visible y de mejor facilidad para el respectivo análisis. Hecho este paso se usaron algunas herramientas para facilitar la delimitación de la cuenca como por ejemplo: un *fill*, que sirve para corregir algunos errores que presenta el DEM que se obtuvo, que al momento de visualizarlo en el programa trabaja con formato raster. Esta imagen viene a blanco y negro, después se usa la herramienta *flow direction* para saber hacia dónde se dirige el flujo de agua y por último se usa la herramienta *flow accumulation* que sirve para observar el recorrido de los caudales.

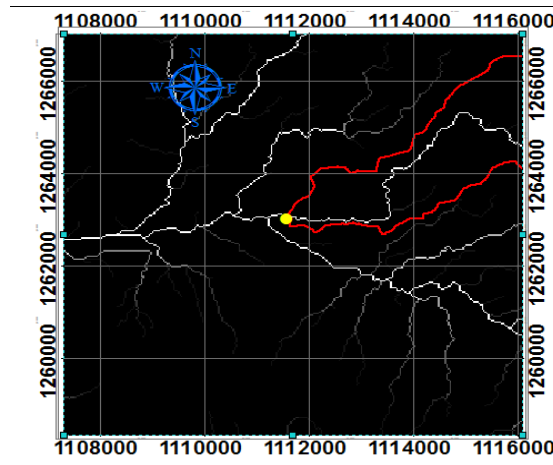


Figura 5. Subcuenca Delimitada / adaptado de: modificado por los autores.

En la Figura 5 se observa el punto de cierre de la Subcuenca para que el programa realice la delimitación.

Teniendo el archivo del flujo acumulado, se crea un nuevo archivo de formato shapefile para obtener el punto del cierre de la cuenca, cabe aclarar que este punto es de suma importancia para el desarrollo del proyecto porque de él depende que tan clara quede la delimitación del área de la Subcuenca a analizar, seguido a esto se edita el punto, se guarda y queda representado este elemento dentro del raster del flujo acumulado y, para dar por terminado todo este procedimiento, se usó la herramienta *watershed* que consiste en delinear la Subcuenca para saber dónde está ubicada (ver anexo 4).

Para tener un conocimiento más práctico de estas actividades realizadas, se desarrolló un manual o tutorial donde se hizo un paso a paso de cómo se delimita una Subcuenca y las ecuaciones que se necesitan para calcular los parámetros morfométricos de la misma. (Anexo 5: Tutorial para delimitar y calcular parámetros morfométricos de una cuenca en ArcGis 10).

El software ArcGis al momento de usar sus herramientas para la delimitación, realiza una única delimitación debido al tipo modelo que usa para visualizar estas imágenes, el modelo es un DEM (Modelo Digital de Elevaciones), este DEM contiene pixeles. Cada pixel trae un tamaño de 30m X 30m, entonces cuando el programa ejecuta el delineamiento rodeando el cauce principal y sus afluentes tiene en cuenta la ubicación del punto de cierre de la Subcuenca para saber dónde inicia y termina dicho delineamiento. En el

caso que dicho punto se ubique en otro lado ya sea más arriba o más abajo, se corre el riesgo de que el nuevo delineamiento intercepte un río que no haga parte de la Subcuenca o que haga intercepción con el delineamiento anterior. Por ese motivo, la ubicación del punto de cierre es primordial para delimitar la Subcuenca.

Es claro que un software no es suficiente para el cálculo de los parámetros geomorfométricos de una Subcuenca por lo que el mismo no calcula los necesarios para el completo desarrollo de una investigación, pero si calcula los básicos que son importantes para después por medio de otras ecuaciones ya definidas en el ítem 2.1.2 y 2.1.3 encontrar los datos restantes para la realización del trabajo que se requiere.

#### **4. Evaluación de parámetros requeridos por el HEC-HMS**

Se investigó sobre cuáles serían los posibles parámetros o características que requiera el software HEC-HMS para poder realizar el modelo y los resultados que arrojó dicha investigación fueron los siguientes (Información requerida por el programa, (s.f)):

Algunas de las características morfométricas que requiere HEC-HMS para realizar los cálculos no están explícitas. Por ejemplo, la pendiente y longitud del cauce principal y de las laderas son necesarias para calcular los tiempos de concentración y los diagramas área-forma que son datos de entrada para el método de hidrograma unitario sintético. Las características morfométricas que deben considerarse para cada Subcuenca necesarias para realizar el modelo de lluvia escorrentía en el software HEC-HMS son las siguientes (ver Figura 6):

CARACTERISTICA	NECESARIA PARA
<i>Área de las subcuencas</i>	Definir todos los cálculos de capacidad y conversión de los volúmenes de lluvia en escorrentía. Es el factor morfométrico de mayor importancia en hidrología.
<i>Longitud y pendientes del cauce principal</i>	Calcular los tiempos de concentración de las subcuencas y los tiempos de viaje en el método de la onda cinemática.
<i>Curvas de nivel y diagramas área-tiempo y área forma</i>	Determinar la concentración de caudales en función del tiempo y de la forma de la cuenca en el método del HU de Clark
<i>Secciones transversales de los canales, longitudes de cauces principales y secundarios, pendientes, formas, rugosidades de lecho y superficie</i>	Realizar los cálculos de tránsito por el método de la onda cinemática.

Figura 6. Parámetros necesarios de la morfometría de las subcuencas para HEC-HMS. / Adaptado de: [http://ingenieria.udea.edu.co/~jecanon/hojadevidajecb\\_archivos/HTML/taller%20HEC-HMS/informaci%F3n.htm](http://ingenieria.udea.edu.co/~jecanon/hojadevidajecb_archivos/HTML/taller%20HEC-HMS/informaci%F3n.htm).

La parte más importante del modelo de simulación de HEC-HMS la constituyen los métodos para estimar la forma en que la lluvia se convierte en escorrentía (ver Figura 7).

MÉTODO	TIPO	INFORMACIÓN REQUERIDA
<i>Hidrograma unitario definido por el usuario.</i>	Hidrológico, empírico	Abcisas y ordenadas del hidrograma unitario de entrada cuya duración no necesariamente debe coincidir con la del intervalo de cálculo del programa pero debe ser constante.
<i>Hidrograma unitario sintético de Clark.</i>	Hidrológico, semiempírico	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tiempo de concentración (h)</li> <li>2. Coeficiente de almacenamiento R(h)</li> <li>3. Diagrama de área, tiempo estándar o definido por el usuario.</li> </ol>
<i>Hidrograma unitario sintético modificado de Clark.</i>	Hidrológico, semiempírico	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tiempo de concentración (h) general para cada Subcuenca.</li> <li>2. Coeficiente de almacenamiento R(h) general para cada Subcuenca.</li> <li>3. Archivo con los parámetros asociados a cada celda o grilla como sus coordenadas y el índice de tiempo de viaje.</li> </ol> <p>El tránsito se hace en forma lineal hasta la salida de cada celda y los valores se van acumulando hasta llegar a la salida de toda la cuenca.</p>
<i>Hidrograma unitario sintético de Snyder.</i>	Hidrológico, semiempírico	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tiempo de retardo Tlag (h)</li> <li>2. Coeficiente al pico función del caudal pico, el tiempo al pico y el área de la Subcuenca Cp(h).</li> <li>3. Diagrama área tiempo estándar o definido por el usuario.</li> </ol>
<i>Hidrograma unitario sintético del SCS.</i>	Hidrológico, semiempírico	<p>Tiempo de retardo Tlag (h, minutos).</p> <p>El hidrograma de salida de la subcuenca se define en tres planos: uno de sobreflujo (longitud, pendiente y rugosidad del terreno), que conduce a otro de colectores secundarios (longitud, pendiente, n de Manning, forma y ancho del canal y talud lateral xH:1V) y de éstos a un canal principal, definido por los mismos factores de los colectores.</p>
<i>Onda cinemática y Muskingum-Cunge.</i>	Hidrológico, Físico	

Figura 7. Métodos de estimación del proceso de transformación de lluvia en escorrentía /

Adaptado de:

[http://ingenieria.udea.edu.co/~jecanon/hojadevidajecb\\_archivos/HTML/taller%20HEC-HMS/informaci%F3n.htm](http://ingenieria.udea.edu.co/~jecanon/hojadevidajecb_archivos/HTML/taller%20HEC-HMS/informaci%F3n.htm).

Tabla 1.  
Resultados parámetros morfométricos para la CSRO

DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR
AREA	km <sup>2</sup>	83.33
PERIMETRO	Km	56.66
COTA MAX	Msnm	3938.73
COTA MIN	Msnm	914.47
X-CENTRO	M	111.929.815.922
Y-CENTRO	M	127.069.172.491
Z-CENTRO	Msnm	25.174.634
ALT. MEDIA	Msnm	25.174.634
ALT MAS FREC	Msnm	2539.5
ALT FREC ½	Msnm	3010.74
LONG CUENCA	Km	19.129.121
PTE DE LA CUENCA	%	15.81
PTE MEDIA DE LA CUENCA	%	5.2
LONG CAUCE PPAL	Km	29.95
ORDEN DE RED HIDRICA	Unidad	5
DENSIDAD DE CAUCES	-	0.06
LONG RED HIDRICA	Km	180.43
DENSIDAD DE DRENAJE	Km/km <sup>2</sup>	21.653
EXTENSION ½ ESCORRENTIA	Km	0.5413
PTE PROM RED HIDRI	%	1
CTE ESTAB DEL RIO	-	0.4618
CTE HIDROGRAFICA	-	0.7
DENSIDAD HIDROGRAFICA	-	32.821
SINUOSIDAD DEL CAUCE PPAL		15.655
PTE CAUCE PPAL	%	52.88
INDICE GRAVELIUS	-	1.75
FACTOR DE FORMA	-	0.2277
RELACION DE ELONGACION	-	0.5385
RELACION CIRCULARIDAD	-	0.3261
RELACION DE RELIEVE	-	138.56
T.C. KIRPICH	h	28.164
T.C. TEMEZ	h	39.697
T.C. JOHNSTONE Y CROSS	h	52.762
T.C. GIANDOTTI	h	25.577
T.C. SCS-RANSER	h	28.162
T.C. VENTURA-HERAS	h	66.643
T.C. V.T.CHOW	h	61.598
T.C. ING. EJERCITO USA	h	64.826

Adaptado de: modificado por los autores

## 5. Resultados

Hallar o calcular las características morfométricas de una Subcuenca además de lo mencionado anteriormente en la investigación también permite conocer qué tipo de cuenca es, cómo es su relieve y de qué manera respondería ante eventos de máxima precipitación.

El software que se utilizó para el desarrollo de estas características calcula los parámetros básicos que serían el área, el perímetro, la cota máxima y mínima de terreno. Luego se calculan algunos de los parámetros de relieve, los cuales serían los datos estadísticos para graficar la curva hipsométrica y la pendiente media. La longitud del cauce principal y algunos parámetros de la red hídrica, tales como el orden de las corrientes, la longitud de la red hídrica y pendiente promedio de dicha red.

La Subcuenca tiene un área de  $83.33 \text{ km}^2$  según la clasificación de áreas de las cuencas (ver anexo 6) es una Subcuenca pequeña, tiene un perímetro de longitud  $56.66 \text{ km}$ . A partir de la zona intermedia hasta la zona más alta se maneja un clima entre frío y páramo debido a que va desde los 2500 msnm aproximadamente hasta los casi 4000 msnm. Desde la zona intermedia hasta la zona más baja posee un clima entre templado y frío porque va desde una altura de 1000 msnm hasta 2500 msnm. La pendiente es del 15.81 %, tiene un terreno accidentado o montañoso, el cauce principal tiene una longitud de  $29.95 \text{ km}$ , posee un orden de corrientes de 5 (ver Figura 8), la longitud de la red hídrica es de  $180 \text{ km}$  y cuenta con una pendiente promedio del 1%.

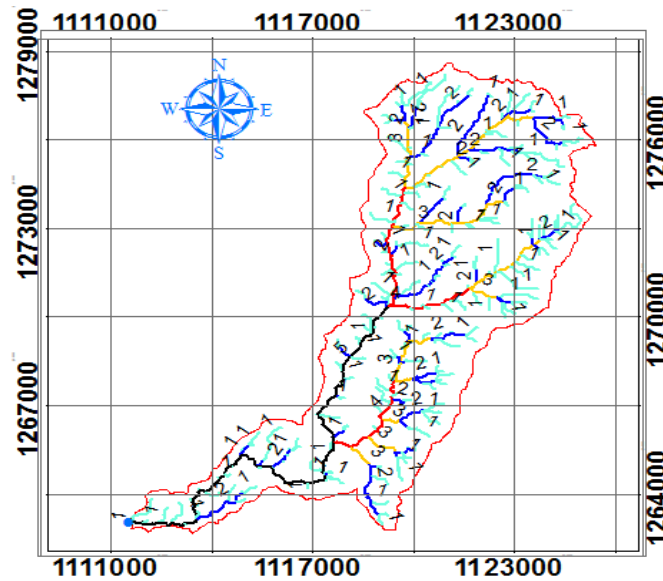


Figura 8. Número de Orden / Adaptado de: modificado por los autores

Debido a que el factor de forma es menor que 1, la cuenca es de forma alargada. El índice de gravelius es de 1.75 es decir, que esta cavidad no es ni circular ni cuadrada: es irregular. La relación de elongación es de 0.54 y presenta fuertes relieves y pendientes pronunciadas de terreno.

Con la gráfica de la curva hipsométrica (ver Figura 9) se conocerá en qué etapa de desarrollo se encuentra: si es joven, madura o vieja. Observando dicha curva se puede afirmar que es una cuenca madura (Ver Anexo 7).

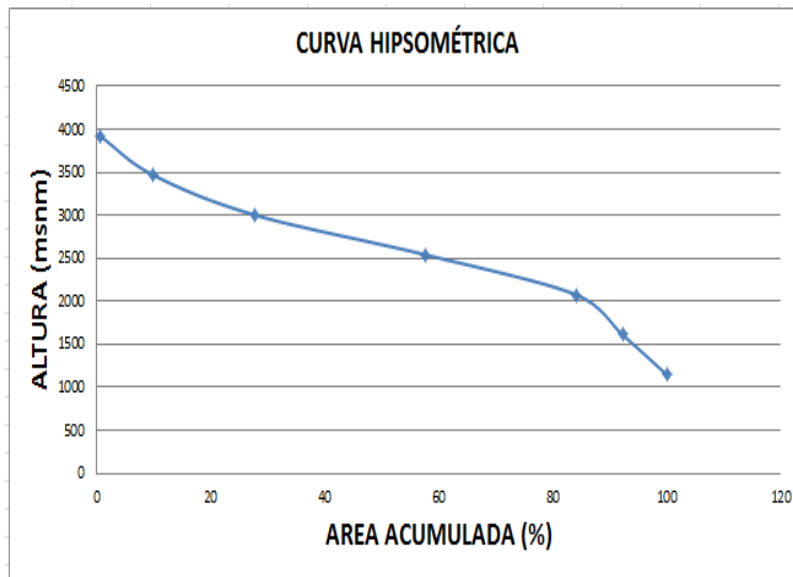


Figura 9. Curva Hipsométrica / Adaptado de: Modificado por los autores

La relación de relieve 138.56 -tiempo de concentración que tienen diversos valores para este tiempo debido a que es un valor empírico- no tiene una ecuación específica para hallar este tiempo: sólo se puede tener la seguridad de que es el tiempo que tarda una partícula de agua caída en el punto más alejado de la cuenca hasta la salida del desagüe.

Parámetros de la red hídrica de la Subcuenca: es una cavidad perenne ya que transporta agua durante toda la época del año. Es un río de transición, tiene velocidades moderadas. La constante de estabilidad del río es 0.46, la densidad hidrográfica es 3.28 y la sinuosidad del cauce principal es de 1.56, alta sinuosidad (Ver Tabla 1).

## 6. Conclusiones y Observaciones

- Anteriormente la delimitación de las cuencas se hacía mediante papel. Luego, se usaron programas de dibujo y ahora con SIG's. Para efectos del

proyecto se escogió el software ArcGis 10.1 siendo éste el de mayor practicidad a la hora de delimitar la cuenca.

- El software ArcGis calcula el área, el perímetro, cotas máximas y mínimas del terreno, datos estadísticos de la curva hipsométrica, la pendiente media, la longitud del cauce principal, orden de las corrientes, la longitud de la red hídrica y la pendiente promedio de la red hídrica. Los demás parámetros se calculan manualmente por medio de las ecuaciones enunciadas en el ítem 2.1.2.
- De acuerdo a los parámetros obtenidos por el ArcGis se puede decir que la Subcuenca es pequeña, ya que su área tiene un valor de  $83.33 \text{ km}^2$ . Presenta una pendiente del 15.81%, es un tipo de terreno accidentado. Según la gráfica de la curva hipsométrica, la Subcuenca está en etapa de equilibrio, es decir, en etapa de madurez. Realizando cálculos manualmente de los demás parámetros, se obtuvo que la Subcuenca no es ni circular ni cuadrada: es una Subcuenca irregular debido a que el índice de gravelius es mayor a 1 y la relación de circularidad es menor a 1 y menor a 0.75. Tiene un drenaje pobre y el cauce principal tiene alta sinuosidad y una pendiente bastante pronunciada con un valor de 52%.
- Teniendo en cuenta todos los parámetros calculados se hicieron las respectivas comparaciones con otros trabajos o proyectos relacionados con este y los resultados son muy similares por ejemplo; comparando dichos resultados obtenidos con los de Forero (2012)(Forero, J., (2012), p. 58) la Cuenca Superior del Rio de Oro tiene una pendiente media que oscila entre 15 y 30 (en porcentaje) y de la de este proyecto la cuenca tiene una pendiente media del 15.81% esto demuestra que los datos hallados se ajustan a los encontrados por otro autor.
- El punto de cierre de la Subcuenca es un paso crítico que requiere precisión y se debe tener en cuenta los diferentes sistemas de coordenadas que se usen para su correcta ubicación ya que de él depende la delimitación y cálculo de los parámetros morfométricos. Saber estos parámetros es entender la información que requiere el programa HEC-HMS para realizar el modelo.

## Referencias

Forero, J. (2012). *Modelo hidrológico distribuido de la cuenca superior del río de oro* (tesis de maestría). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

CDMB, *Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental Subcuenca Río de Oro*. Recuperado de: <http://mail.cdm.gov.co/ciaga/documentosciaga4/EstudioAmbientaSubriodeOro.pdf>.

Cahuana, A., Yugar, W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología CIV-233*. Recuperado de: <http://civilgeeks.com/2012/06/24/apuntes-y-archivos-para-estudiantes-de-ingenieria-civil/>. Hidrología CVI-233.

Bolaños, A. y Flores, J., (Eds), (2009). *Manual de Drenaje de INVIAS*, Bogotá, Colombia.

Laboratorio Unidad Pacífico Sur CIESAS, (s.f). *Sistemas de Información Geográficas*. Recuperado de: <https://langleruben.wordpress.com/%C2%BFque-es-un-sig/>.

Umaña, B. (2014). *Análisis hidrológico de la cuenca del río Toyogres utilizando el modelo HEC-HMS*. Recuperado de: [http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6148/Analisis\\_Hidrologico\\_Cuenca\\_Rio\\_Toyogres\\_Modelo\\_HEC\\_HMS.pdf?sequence=1](http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6148/Analisis_Hidrologico_Cuenca_Rio_Toyogres_Modelo_HEC_HMS.pdf?sequence=1).

¿Qué información requiere el programa?., (s.f). *Información necesaria en HEC-HMS*. Recuperado de: [http://ingenieria.udea.edu.co/~jecanon/hojadevidajecb\\_archivos/HTML/taller%20HEC-HMS/informaci%F3n.htm](http://ingenieria.udea.edu.co/~jecanon/hojadevidajecb_archivos/HTML/taller%20HEC-HMS/informaci%F3n.htm).

Satélite ASTER. (2016). *ASTER GDEM Readme File – ASTER GDEM Version 1*. Recuperado de: [http://www.gisat.cz/images/upload/6fbe0\\_aster-gdem-readme-ev1-dot-0.pdf](http://www.gisat.cz/images/upload/6fbe0_aster-gdem-readme-ev1-dot-0.pdf).

## **Bibliografía**

HILL, Mc Graw. Hidrología aplicada. Bogotá, 1994.

BONARINO, Doffo. Caracterización morfométrica de la Cuenca Alta del Arroyo de las lajas, Córdoba. En: Revista de la Asociación geológica Argentina. Vol 60. 2015, Pág: 16-22.

GREGORY, K; WALLING, D. Drainage basin form and process a geomorphological Approach. Londres, 1973. Pág. 45.

JENNING, M. Vilma Stormwater Hydrology Wasnintong: Walter Resovices. Monograph 7, American Geophysical Union. 1982.

LEXOW, C. Hidrodinámica de la zona no saturada aplicada al estudio del balance Hidrológico y de contaminantes de los recursos hídricos subterráneos. Tesis doctoral en Geología. Bahía Blanca: Universidad Nacional del sur, 2002. Pág. 175.

MELO, Wt. Génesis del vestuario de Bahía Blanca: relación morfodinámica y Temporal con su cuenca hidrográfica. Tesis doctoral Bahía Blanca, 2003. Pág. 202.

PUERTA, R. ArcGis Básico 10. Tingo María. Universidad Agraria de la Selva. Perú, 2011.

## Anexos

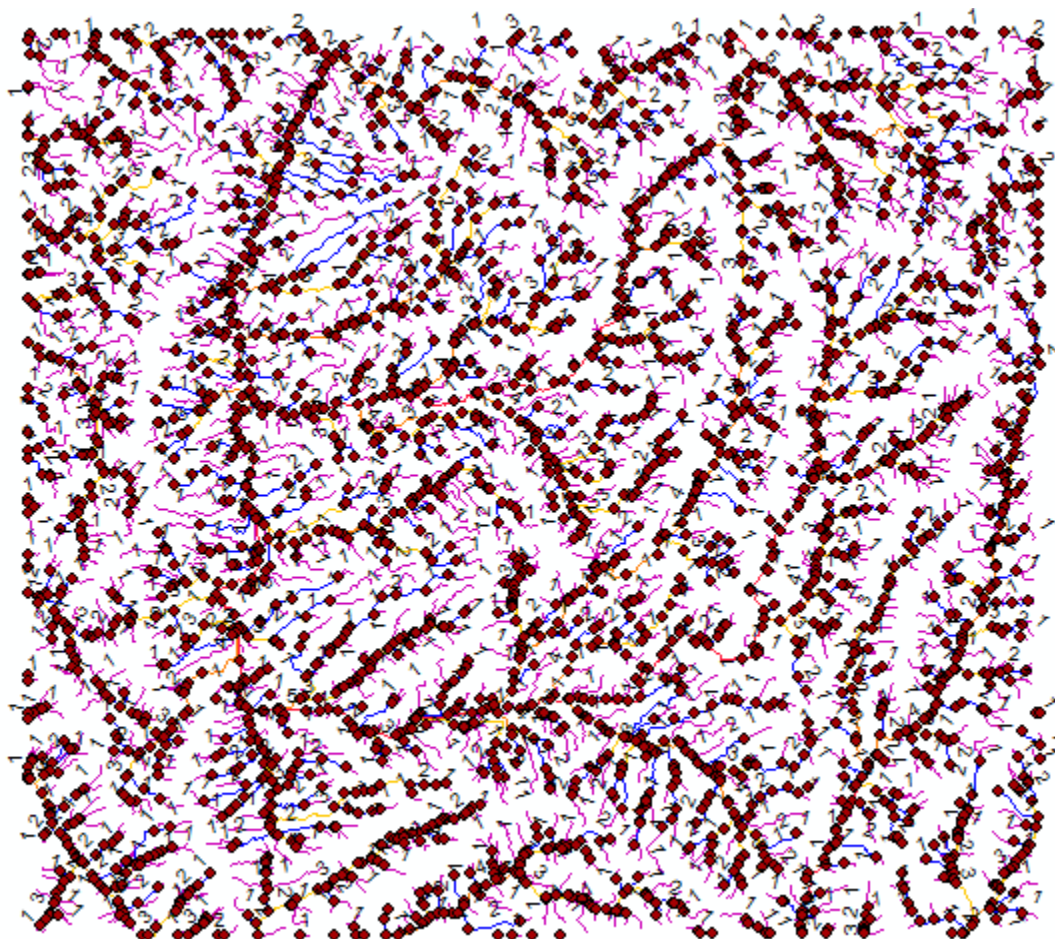
### ANEXO A. FUNCIONAMIENTO DE UN SIG



FUENTE: [16]

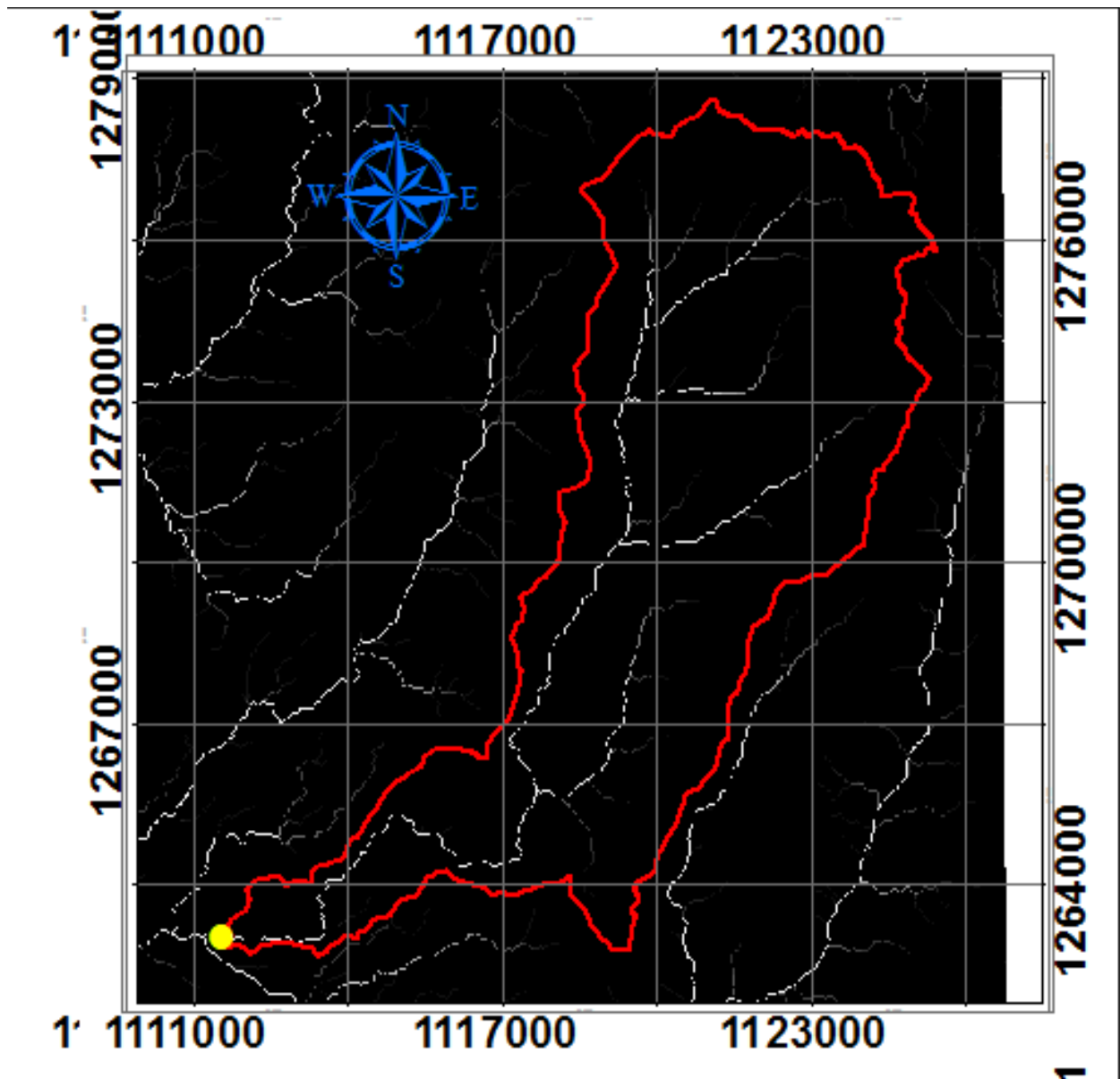
[16]Funcionamiento de los SIG. [Documento Electronico]. Disponible en internet:  
[http://educaciongeograficasally.blogspot.com.co/2015\\_03\\_01\\_archive.html](http://educaciongeograficasally.blogspot.com.co/2015_03_01_archive.html).

**ANEXO B.** Localización de todos los puntos de la red hídrica





ANEXO D. SUBCUENCA DELIMITADA

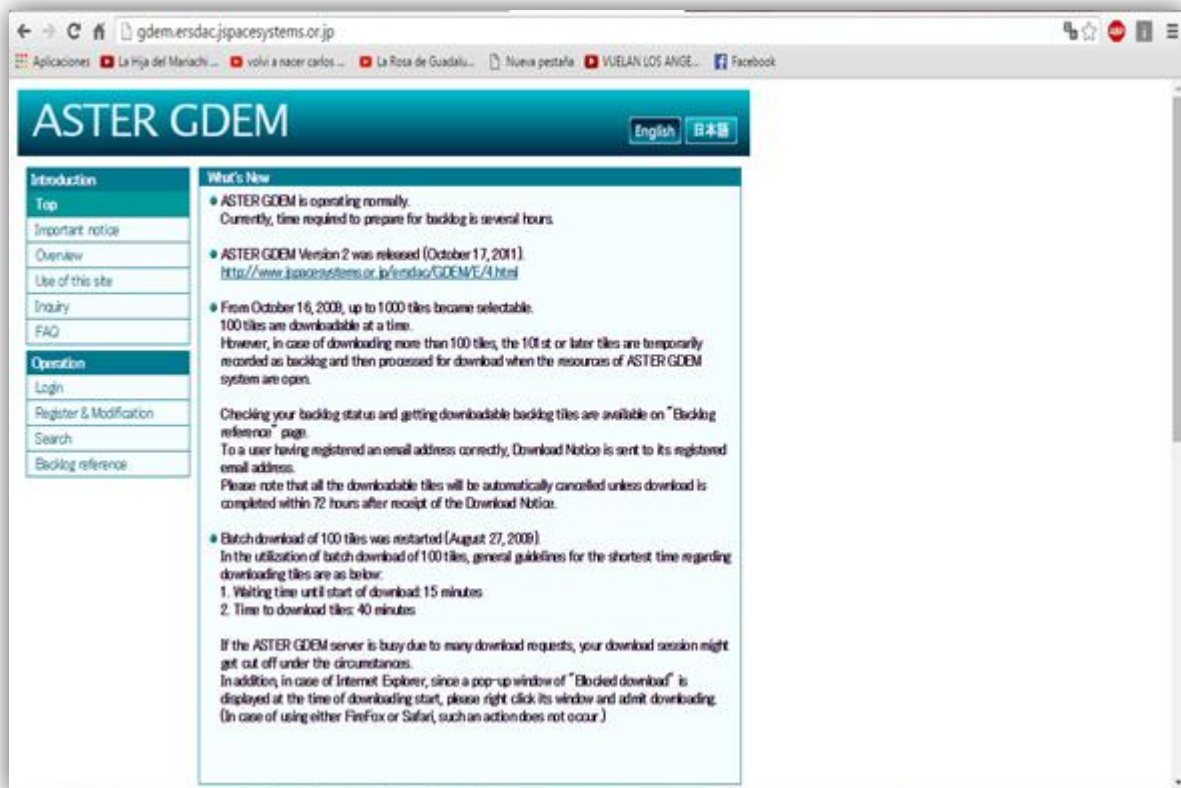


**ANEXO E.** Tutorial para realizar la delimitación y el cálculo de parámetros morfométricos de cuencas usando ArcGis 10.1

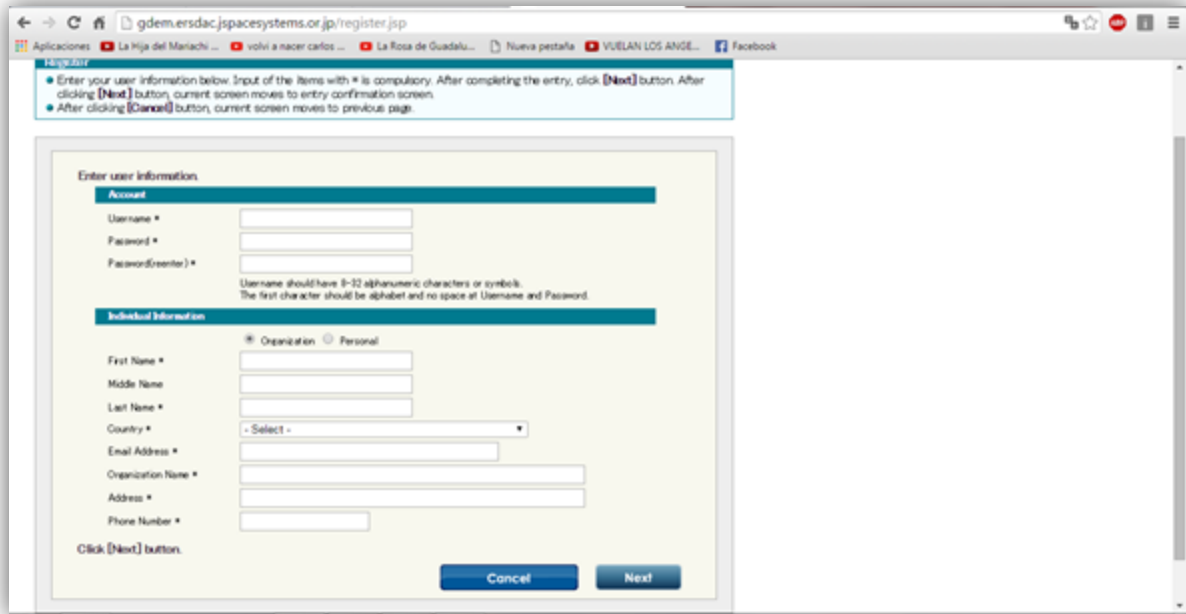
**TUTORIAL PARA REALIZAR LA DELIMITACION Y EL CALCULO DE PARAMETROS MORFOMETRICOS DE CUENCAS USANDO EL SOFTWARE ARCGIS 10.1**

Lo primero que debe hacer es obtener o descargar un DEM (MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES) por medio del satélite en nuestro caso del satélite ASTER, la página web para realizar dicha descarga es la siguiente:

<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/> , les saldrá esta ventana:

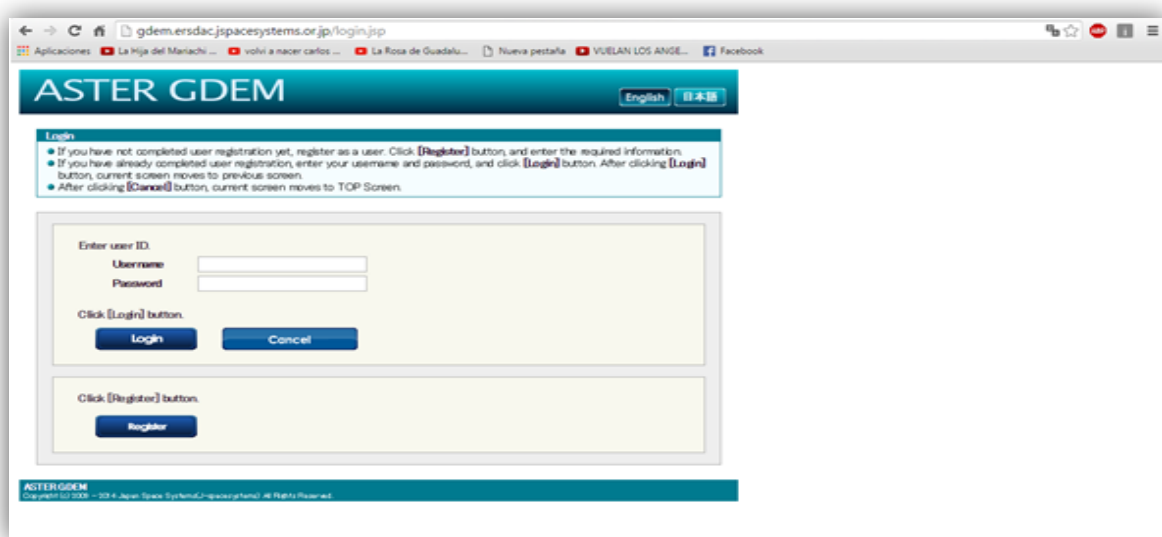


Paso a seguir es realizar el registro en este caso le daremos un click en el menú en la izquierda llamado *Register & Modification* y aparecerá la siguiente ventana:

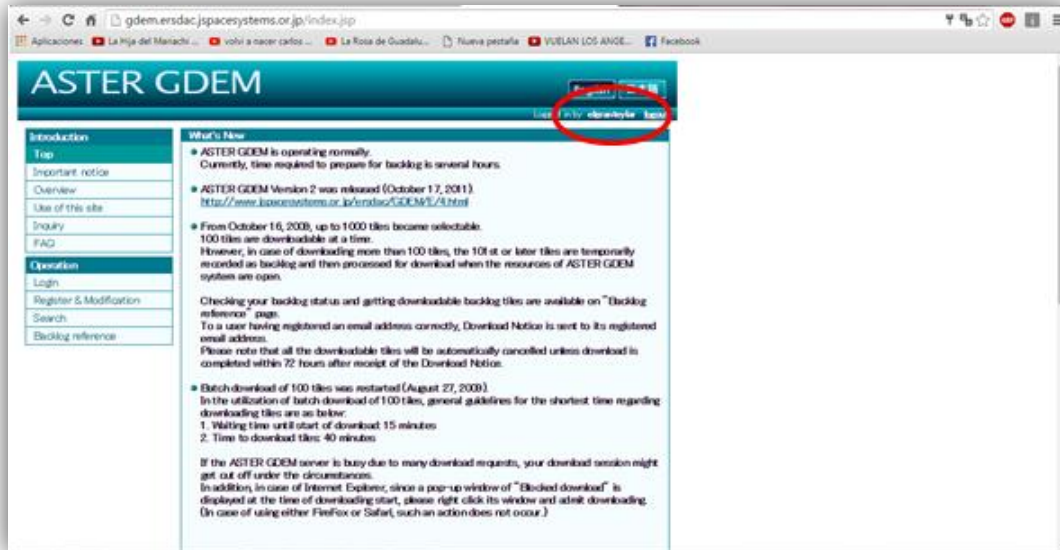


Aquí se procederá a ingresar sus datos personales para el respectivo registro, una vez hecho este paso ya podrás ingresar a la página y buscar la información que desees saber.

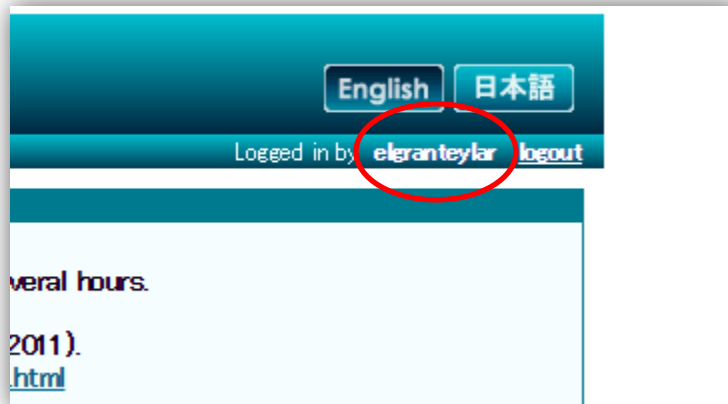
Ahora ingresamos a la página con los datos suministrados anteriormente para buscar la información que necesitamos, por lo tanto le damos click en el menú de la izquierda que dice *Login* y aparecerá esta ventana:



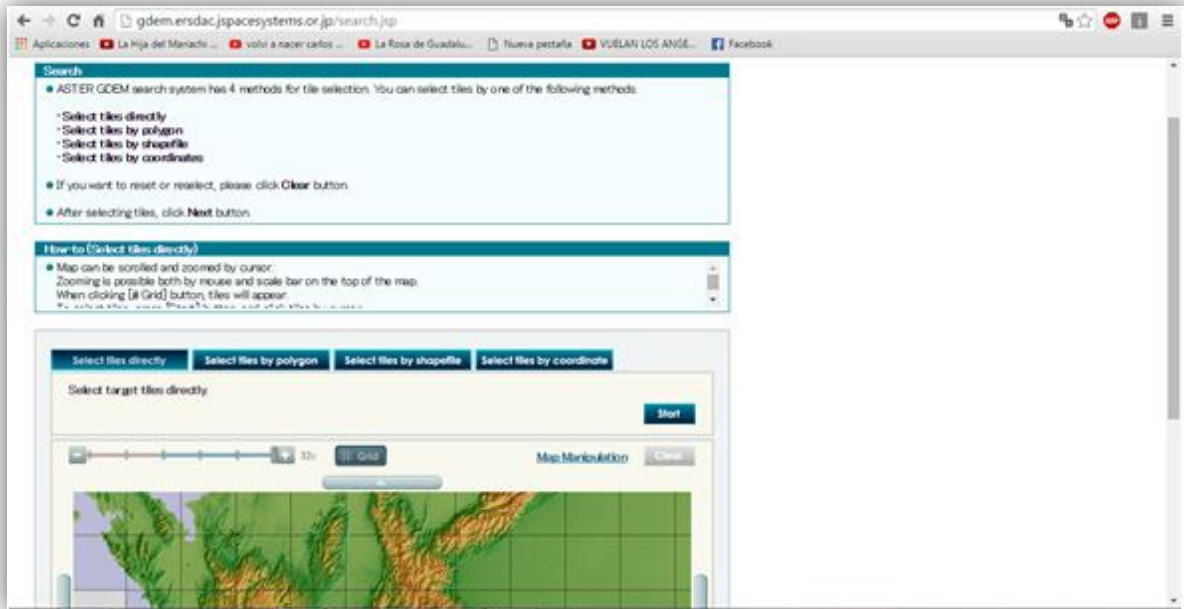
Se digita el usuario y la contraseña registrado en el paso anterior y aparecerá la siguiente información:



Se verá esta ventana es muy parecida a la página de inicio con la diferencia que en el parte superior derecha ya aparece el usuario registrado:



Paso a seguir es darle click en el menú *Search* para buscar la información y nos dirige a la siguiente ventana:



En esta ventana el programa o la página nos ofrece 4 métodos para descargar la información el primero:

1. **Directamente:** en este método simplemente se le da click en el botón *start* y se procederá a picar los cuadros que sean necesarios para descargar la información. De esta forma queda ya picado los cuadrados necesarios.



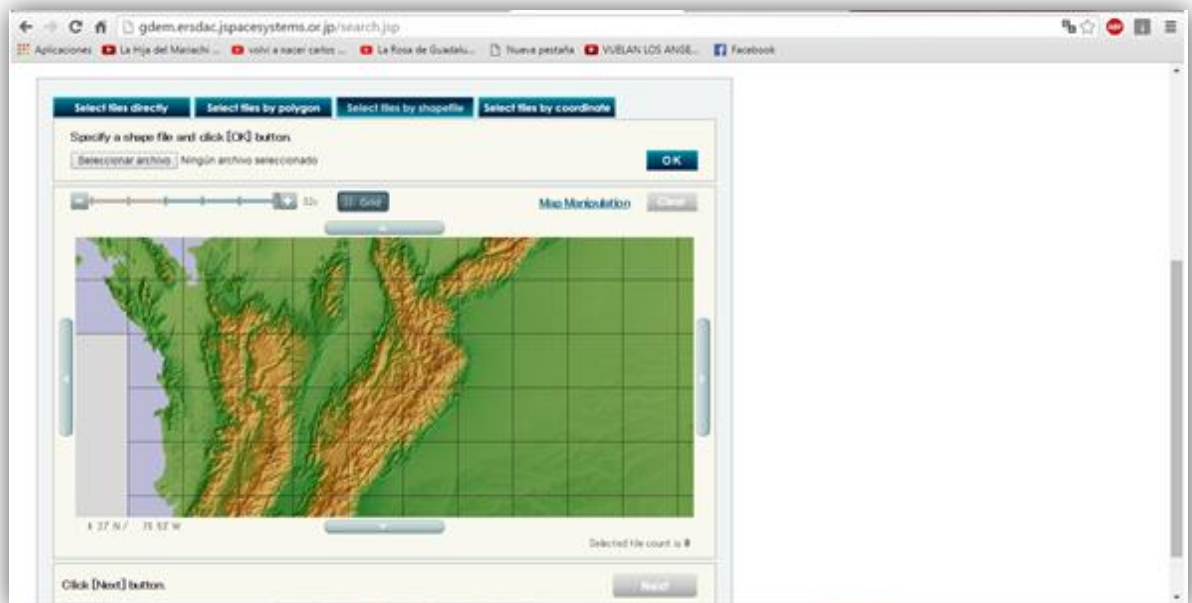
2. **Polígono:** se realiza el mismo proceso anterior con la diferencia que se dibuja ya sea un triángulo, rectángulo, cuadrado o el polígono que se desee. Así quedaría la información hecha.



Se le da click en el botón ok y se registra la información la cual queda de la siguiente forma.



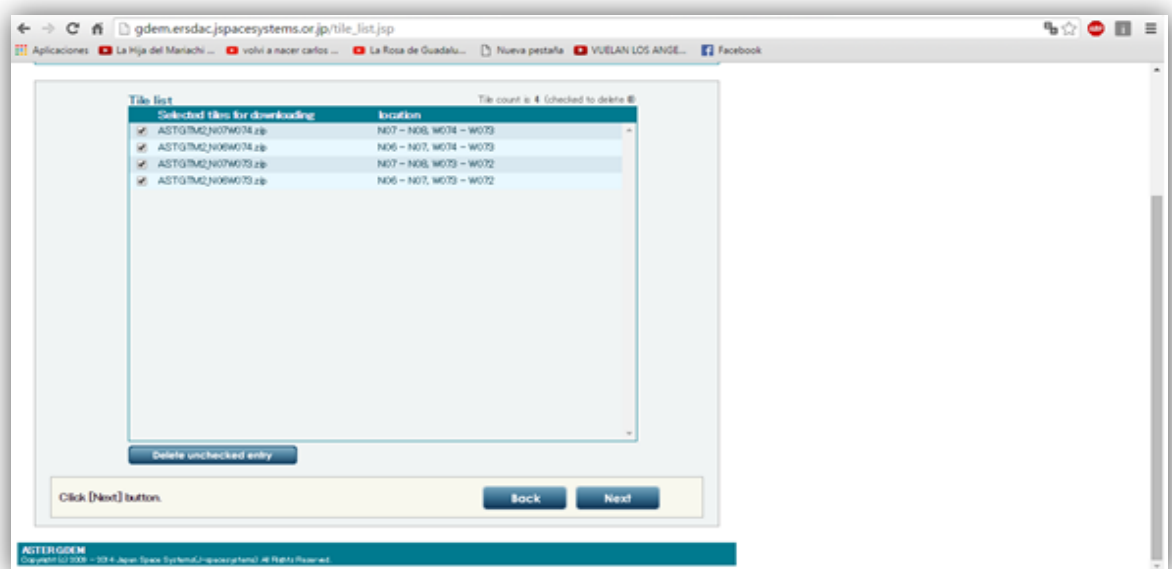
3. **Shapefile:** para este método se requiere seleccionar un archivo *.shp* para poder acceder a la información de lo contrario no se puede hacer nada. Esta es la ventana que aparece:



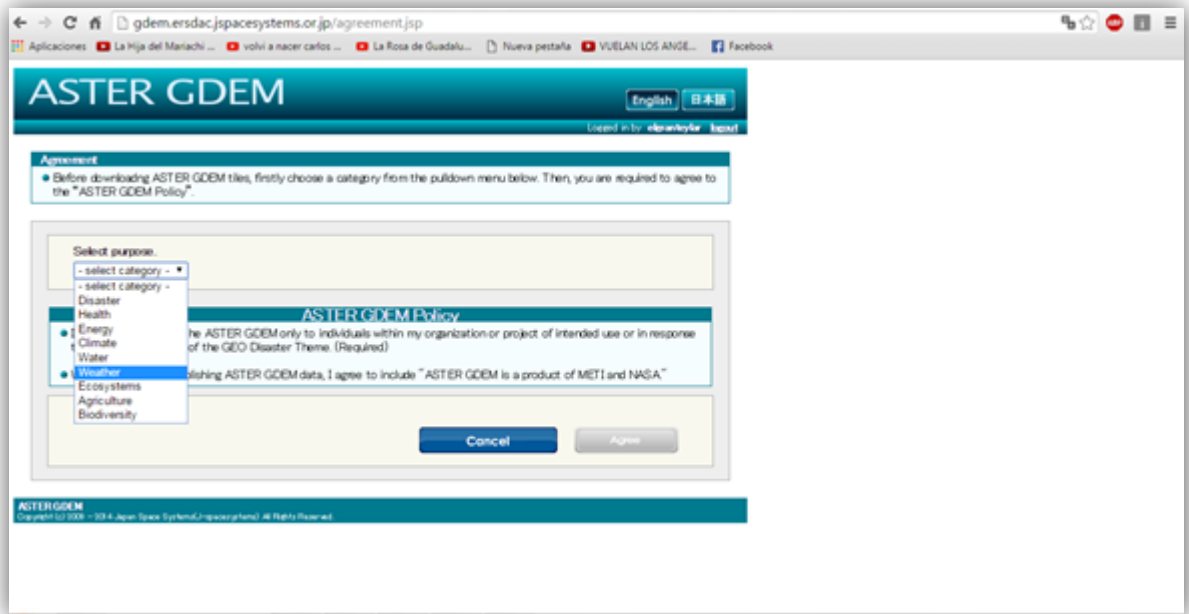
4. **Coordinate:** se requiere para este método las coordenadas para ubicar el sitio en cuestión y se realiza el mismo procedimiento. Esta es la ventana:



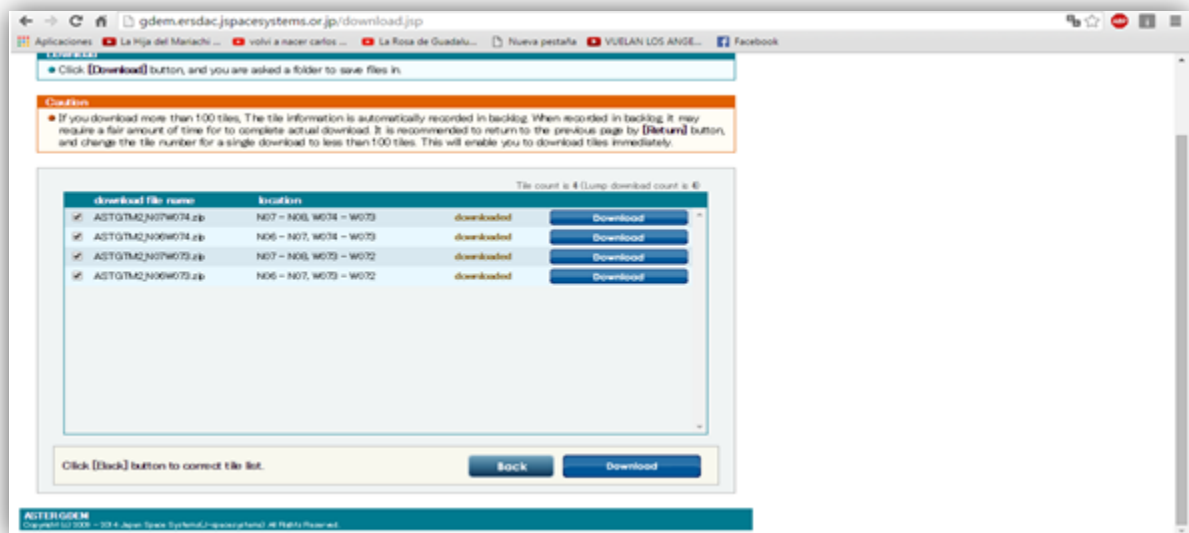
Después de ubicar el sitio de estudio se dará click en el botón *next* y aparecerá esta Ventana:



Y al final se dará click en el botón *next* aparecerá esta nueva ventana:



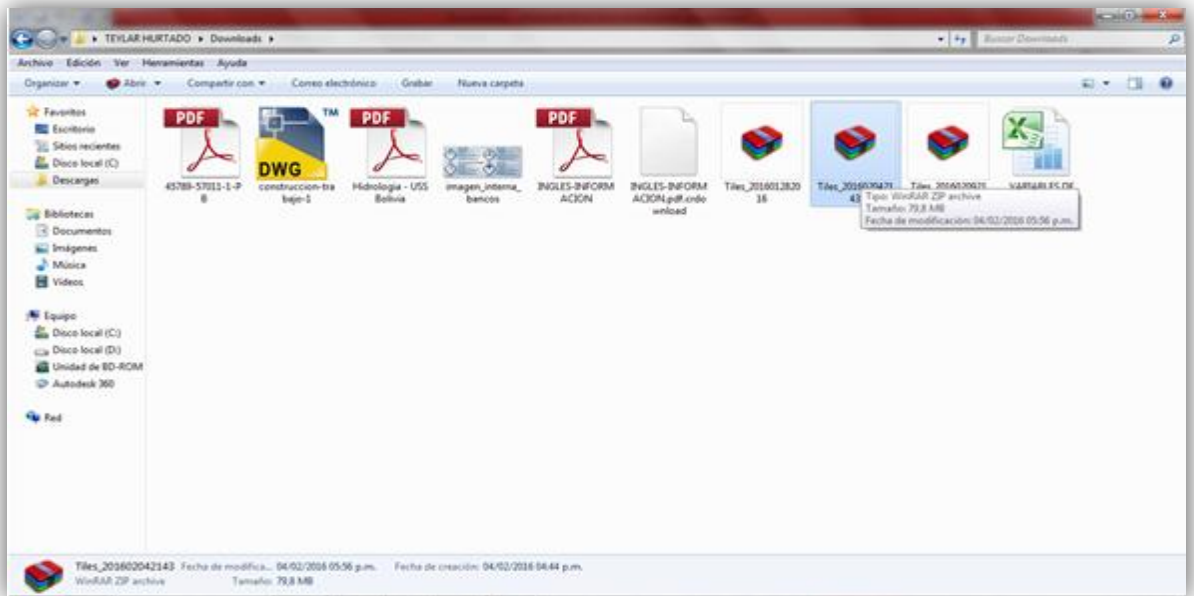
Buscaremos en el menú *Select Purpose* un nombre para saber q tipo de archivo se requiere trabajar en nuestro caso como es una cuenca se dará click en el nombre *Weather* y seguido el botón *Agree* y aparecerá esta ventana:



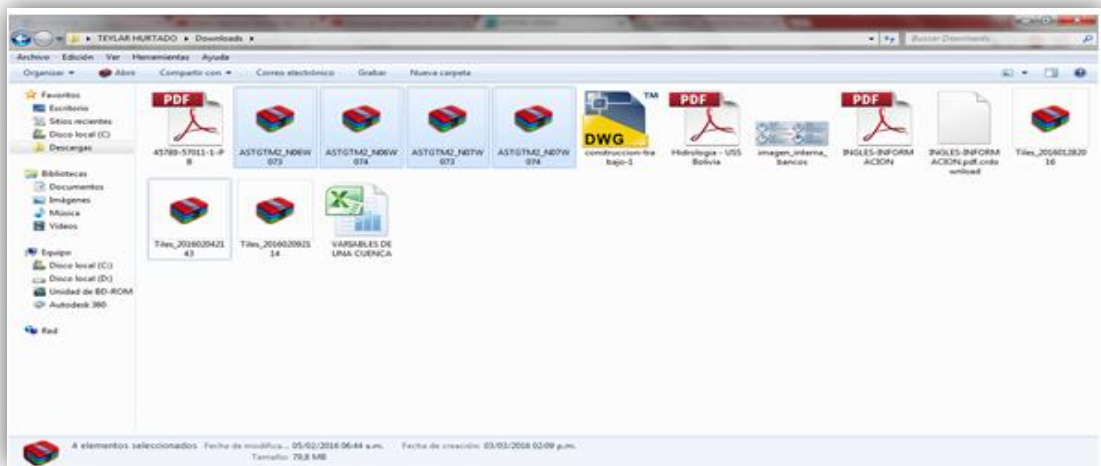
Se seleccionan los 4 archivos y finalmente se dará click en el botón *Download* para la respectiva descarga.

Terminada la descarga arrojará un archivo comprimido de esta forma:

Es el archivo seleccionado



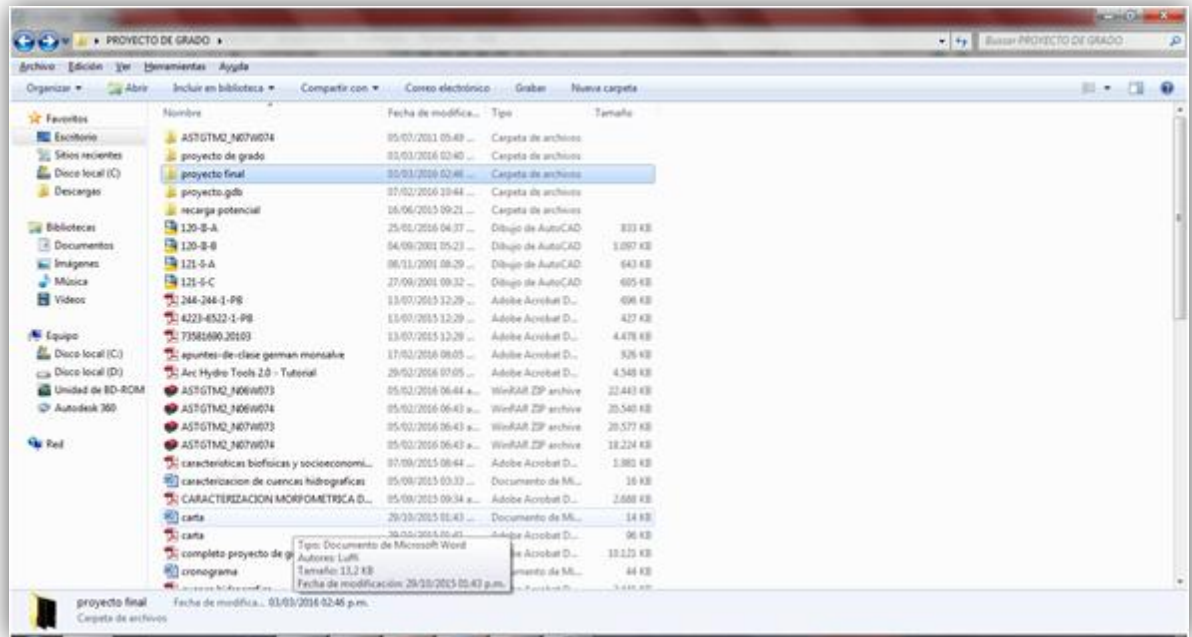
Esta descomprime 4 archivos comprimidos q aparecen así y son los seleccionados:



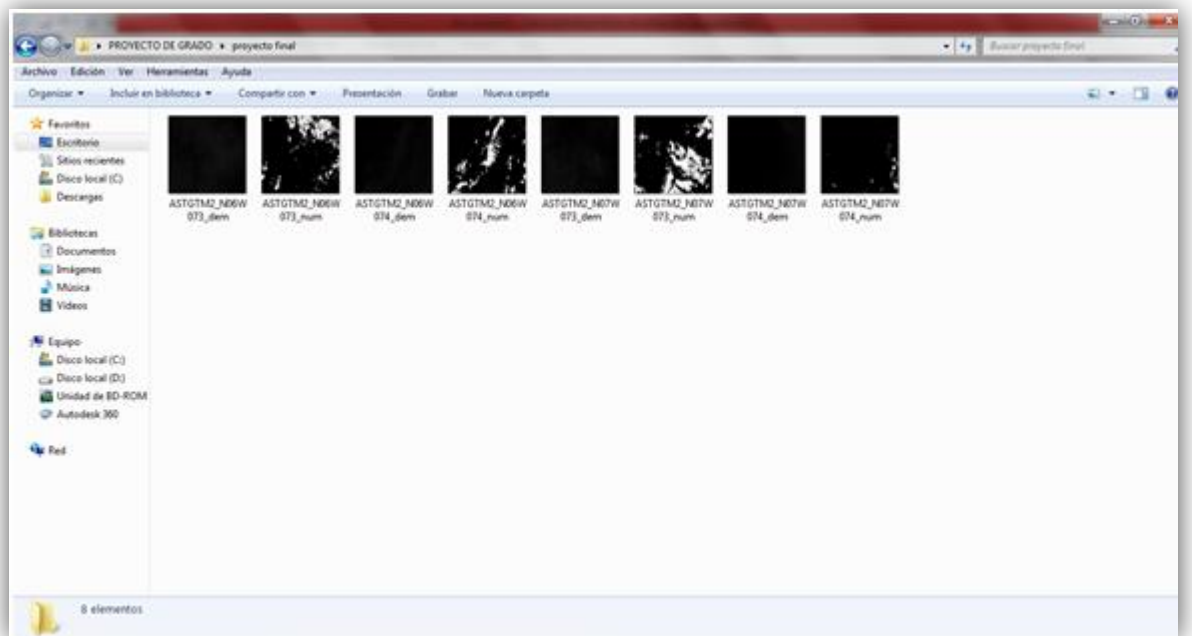
Se procederá a descomprimir cada uno de los archivos seleccionados y se guardaran en una sola carpeta para después abrirlos en el respectivo software a usar.

Cada uno de estos archivos comprimidos muestra dos imágenes o fotos en total serian 8 fotos que después se unirán para formar una sola imagen.

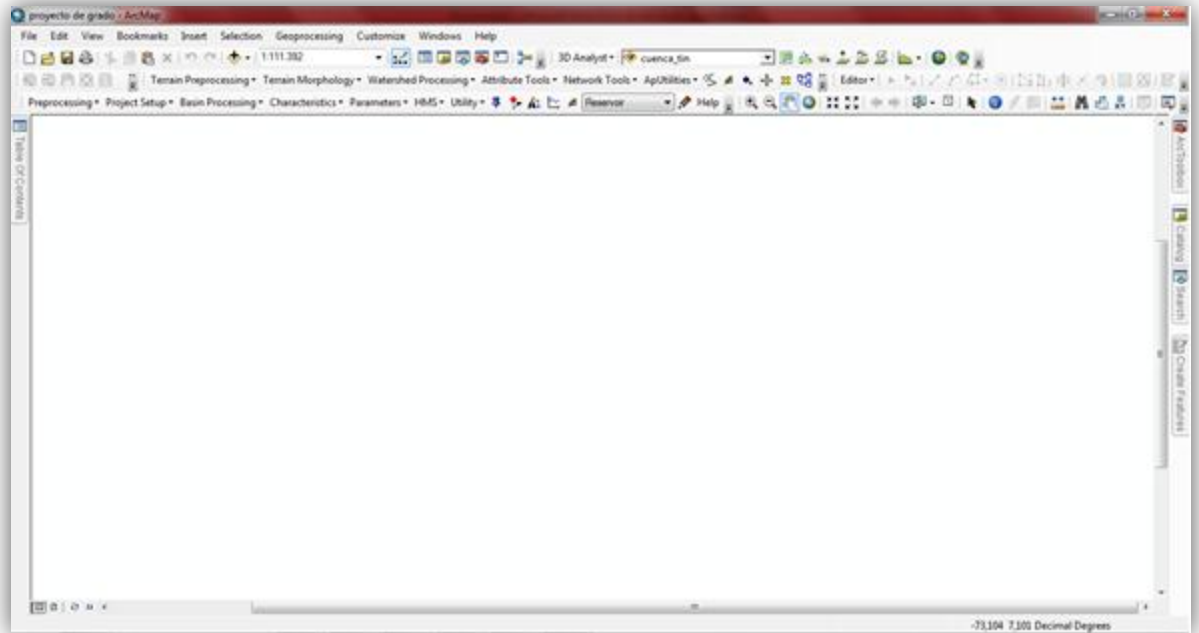
Esta sería la carpeta con todas las imágenes obtenidas a la cual le puse por nombre “proyecto final “



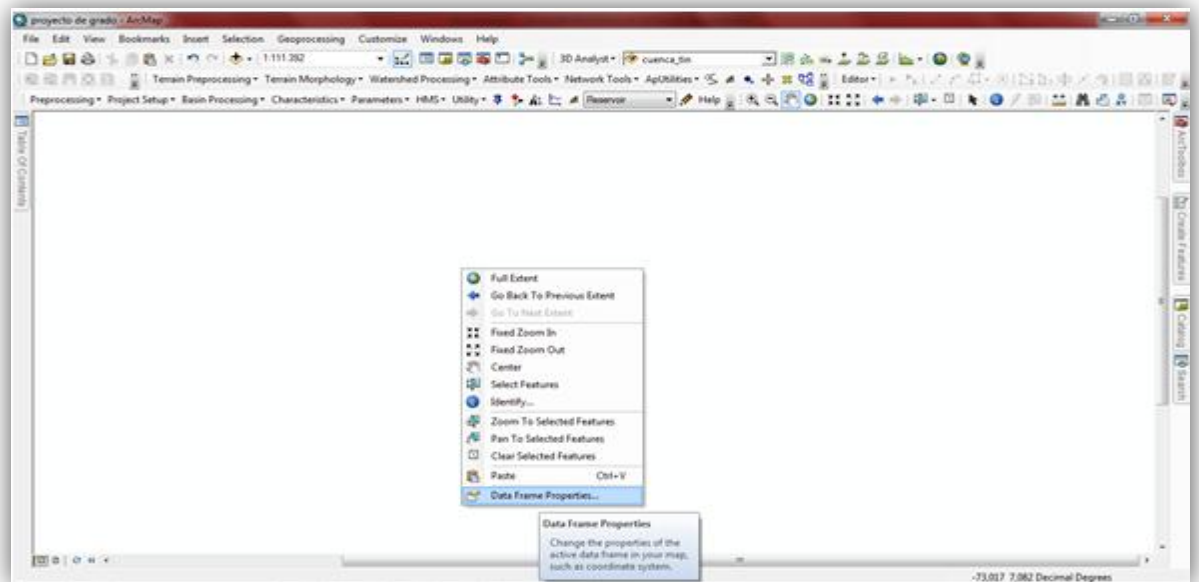
Y las 8 imágenes serían estas:



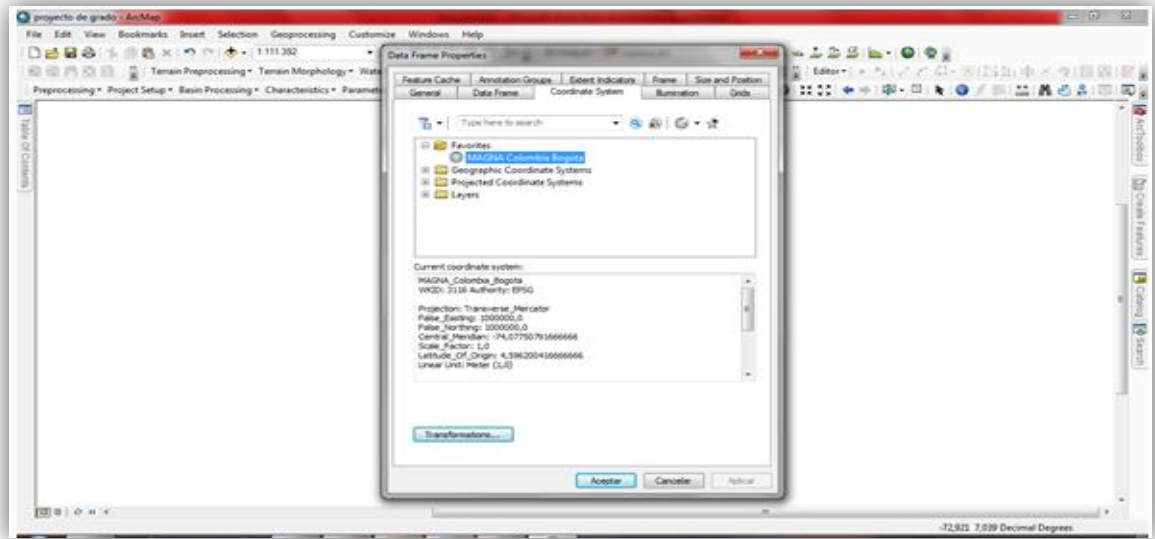
Paso a seguir sería abrir el software que vamos a utilizar en nuestro caso el ARCGIS 10.1



Antes de empezar a proyectar las imágenes debemos cambiar el sistema de coordenadas para que los resultados sean los esperados, para eso se da click derecho dentro de la plantilla en blanco y otro click en el menú *Data Frame Properties...*



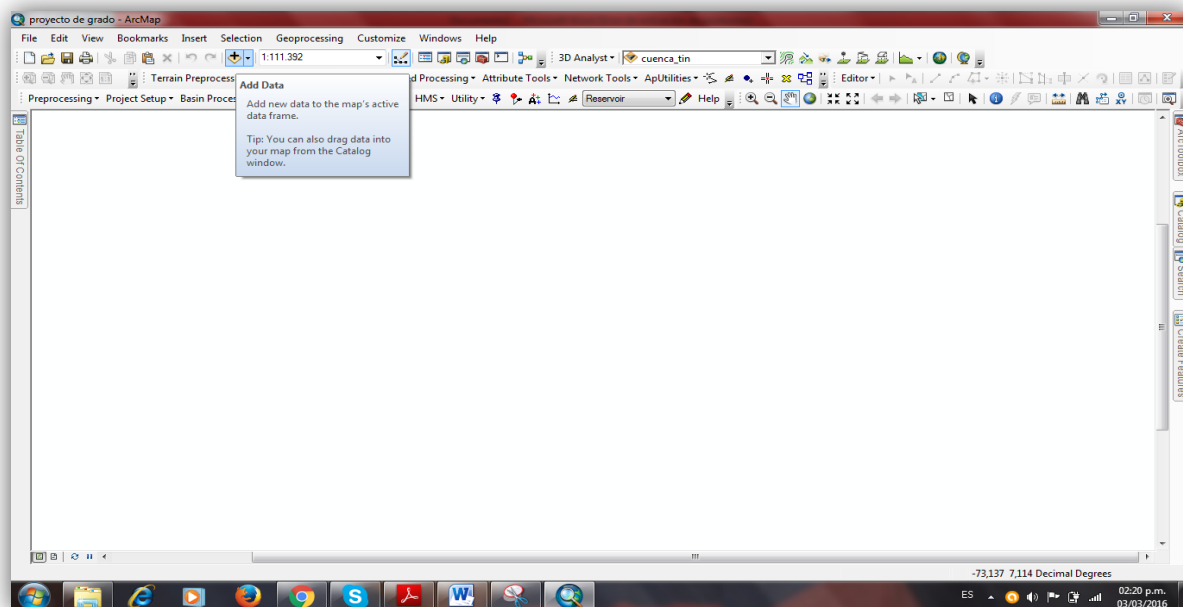
Y aparecerá la siguiente ventana:



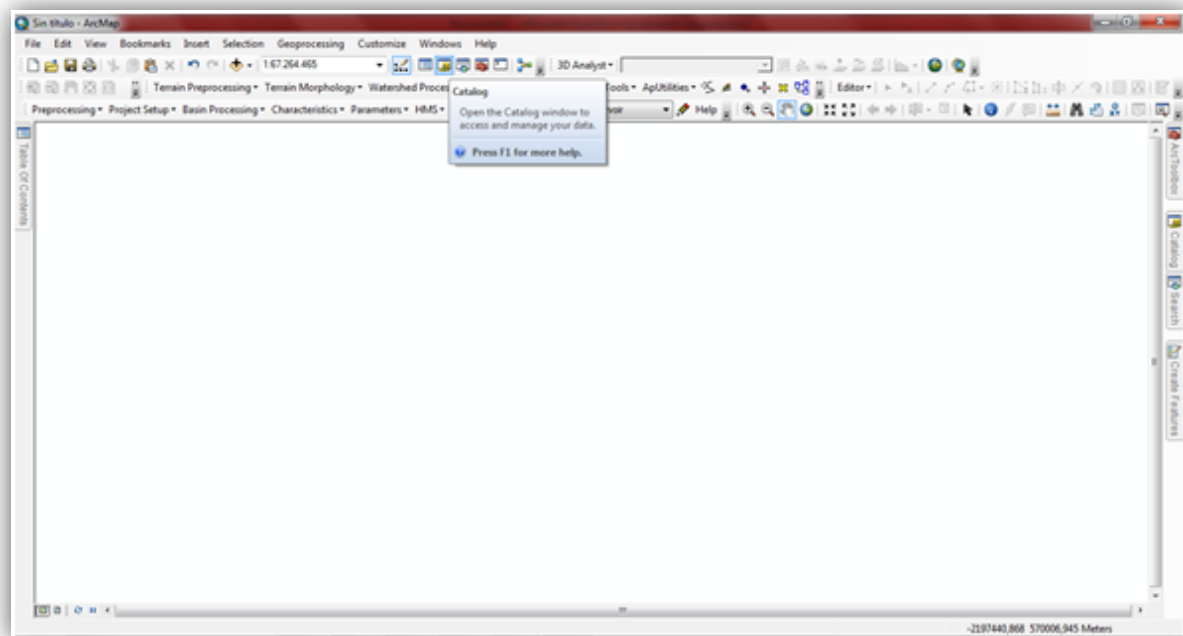
Y buscamos el sistema de coordenadas en las barras de herramientas *coordinate system* y damos click en la que dice *MAGNA Colombia Bogotá* ya que estas son las coordenadas que se usan a nivel nacional, si no aparecen las buscamos damos doble click en *Projected Coordinate System – National Grids – South América – Colombia- MAGNA Colombia Bogotá*. Damos click en *Aplicar* y después en *Aceptar*.

Paso a seguir es buscar las imágenes descargadas y proyectarlas en el software

Una forma es dando click en el en la barra de herramienta llamada *Add Data* para cargarlas 8 imágenes de la carpeta donde están guardadas:

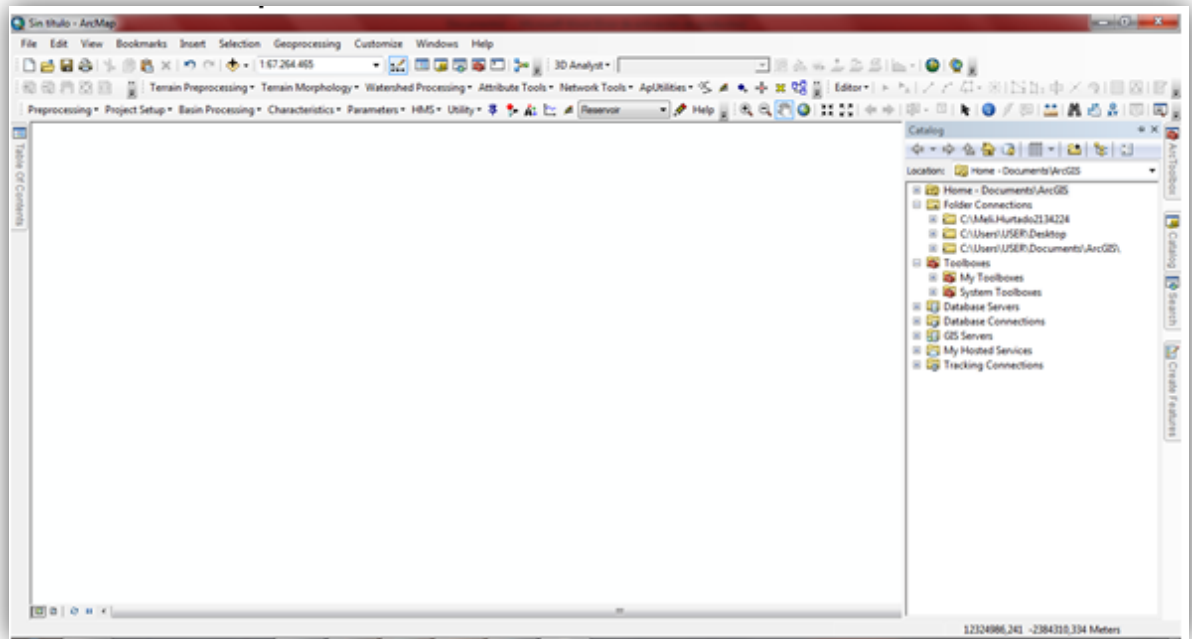


Si no se busca en el menú *Catalog* si no aparece en la parte derecha de la pantalla se busca en la barra de herramientas:

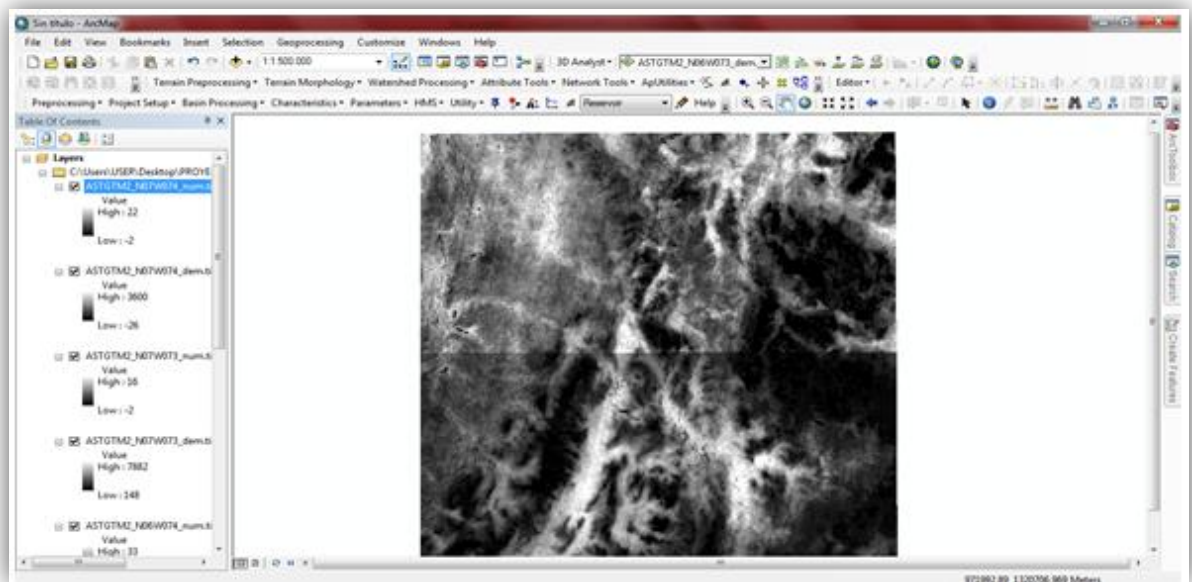


Y aparecerá esta ventanita:

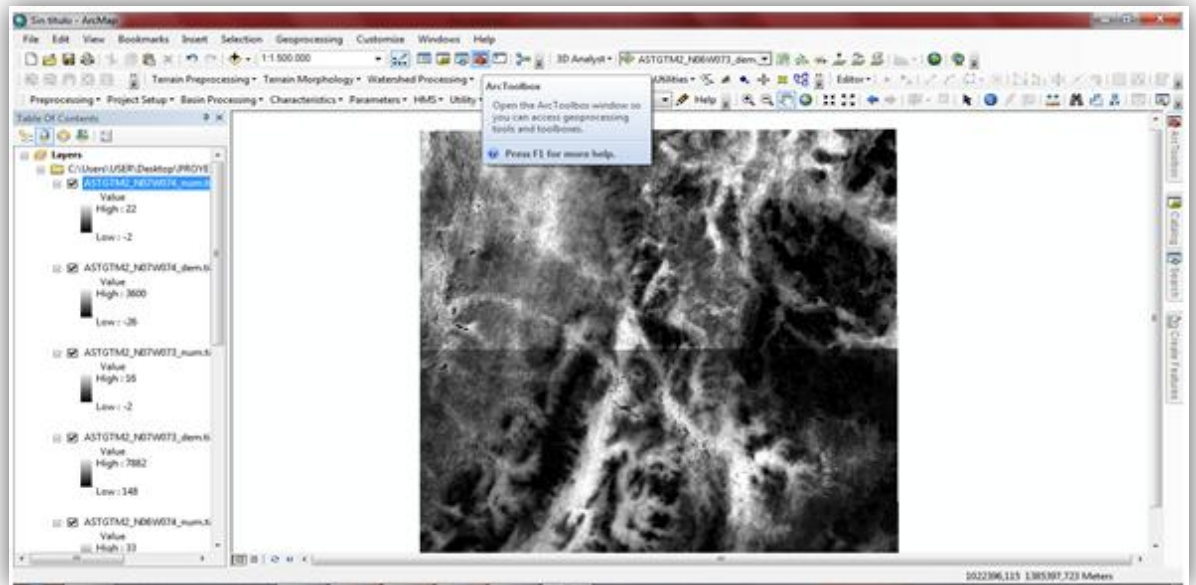
# CARACTERIZACION HIDROLOGICA DE LA SUBCUENCA DEL RIO DE ORO ALTO COMO BASE PARA MODELAMIENTO EN HEC-HMS



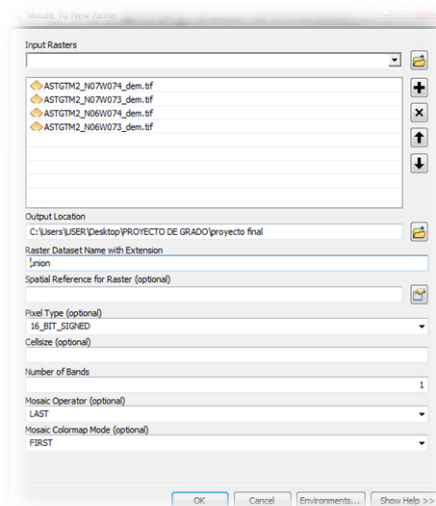
Seguido a esto se buscan los archivos y se proyectan en la carpeta donde se guardaron uno por uno y quedarían de la siguiente forma ya proyectados en el programa:



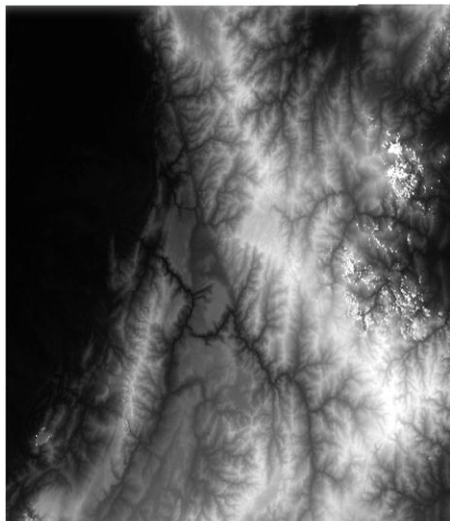
Ahora se procede a unir todas las imágenes se busca la herramienta *Arctoolbox* en el menú o en la parte derecha de la pantalla



Y se realiza el siguiente paso: *Arctoolbox – Data Management Tools – Raster –Raster Dataset- Mosaic To New Raster*, y aparecerá la siguiente ventana. Se ingresan los datos necesarios y finalmente click en el botón *ok*.

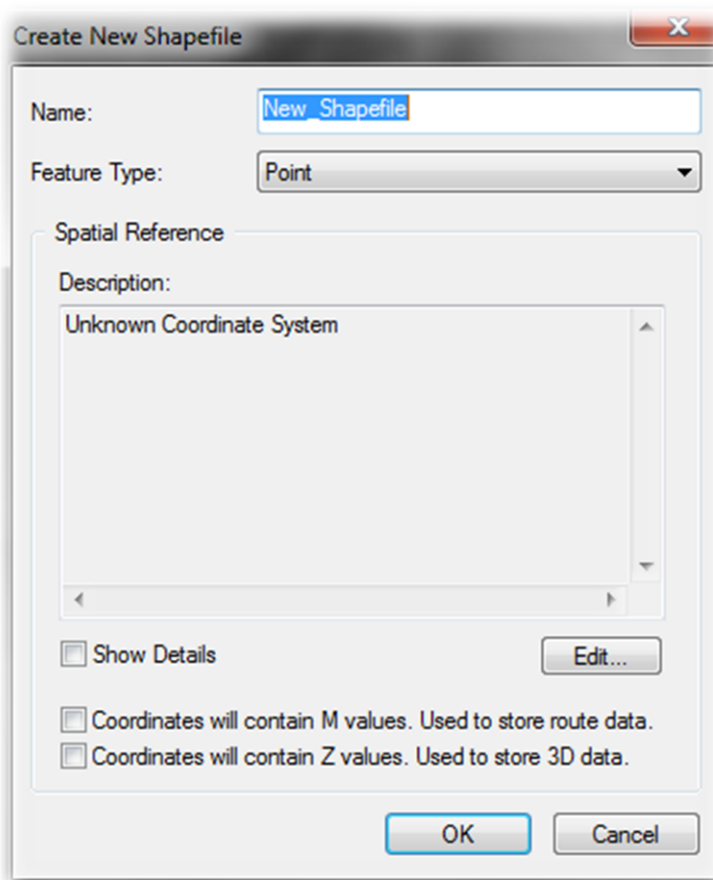


Y la imagen unida se vería así:  
Removemos los demás archivos y dejamos solo el raster con el nombre de “unión”

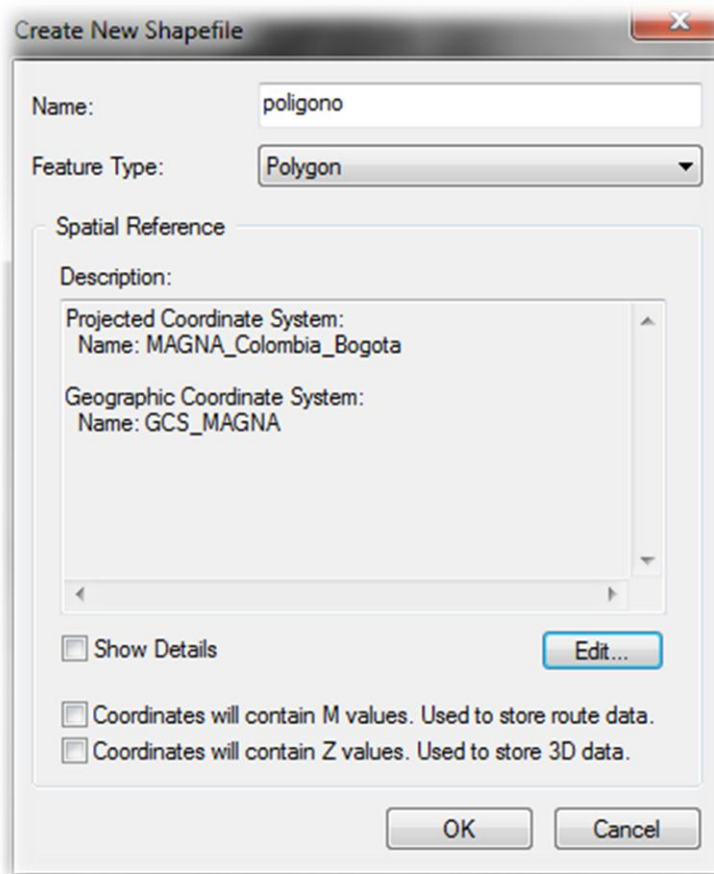


Por ser un DEM tan grande se procede a realizar un recorte donde se ubique el área de estudio.

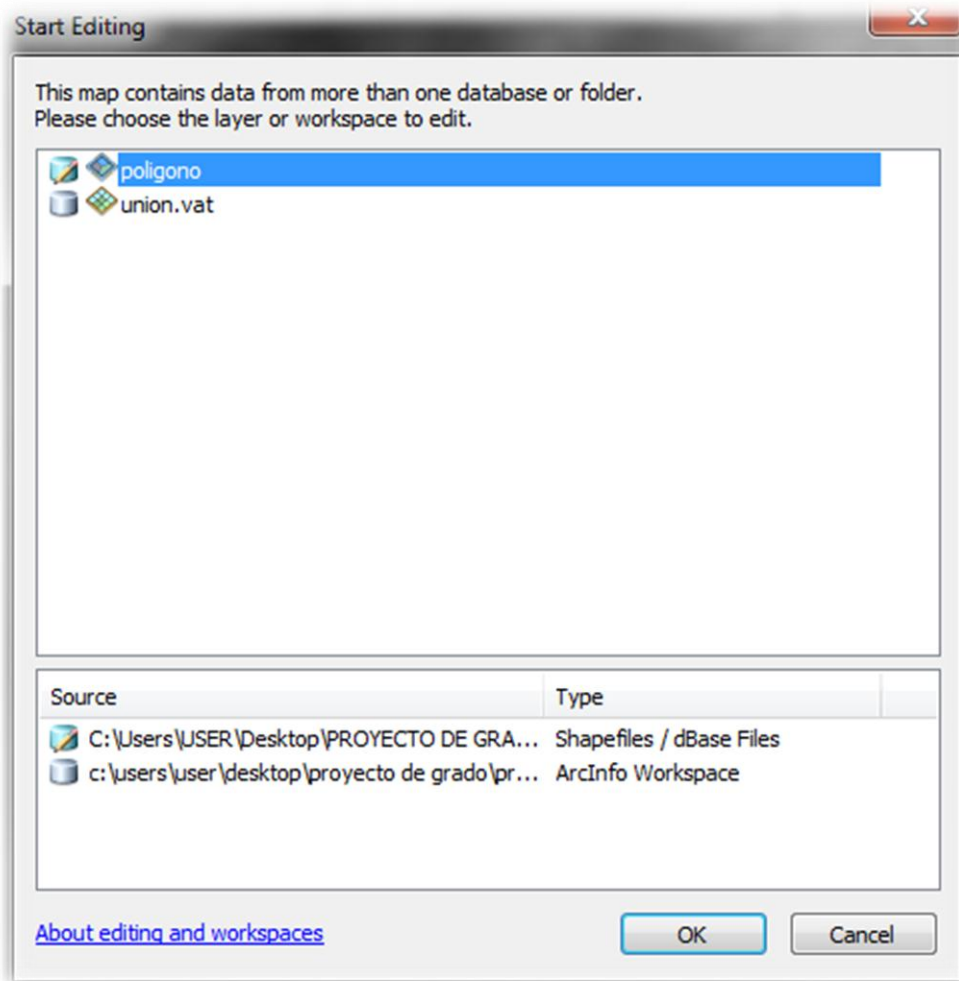
Vamos a la herramienta *Catalog* y buscamos la carpeta donde está todo guardado: damos click derecho *New – Shapefile* y aparece esta ventana:



Y realizamos los cambios correspondientes y damos click en *ok*.



Seguido buscamos en las herramientas el menú *Editor* damos click y luego damos otro click en *Start Editing* y nos aparece esta ventana:  
Seleccionamos la opción *polígono* y después el botón *ok*.

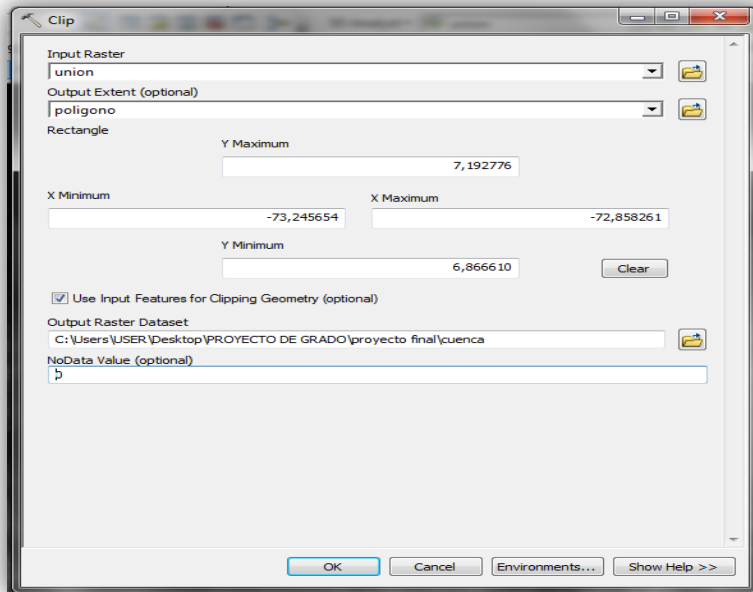


Vamos a la herramienta *create features –polígono – rectangle* quedaría de la siguiente forma:

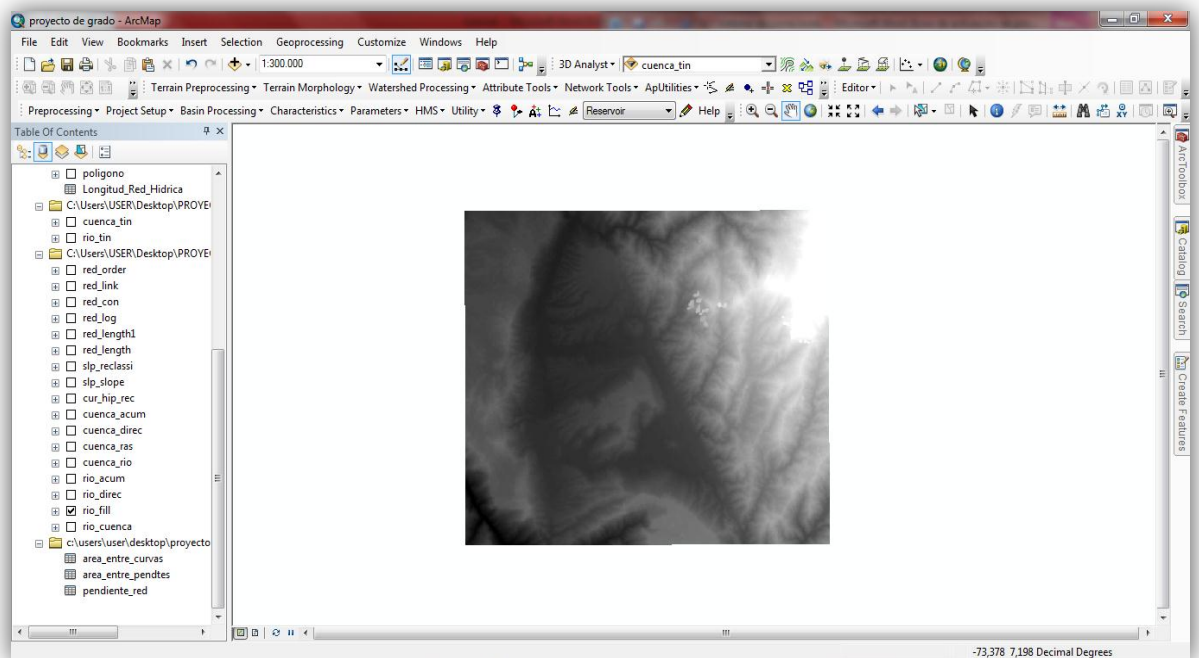
Dibujamos el rectángulo en la zona de estudio damos click en *editor-save edits* y nuevamente en *editor – stop editing*.

Buscamos la opción *clip: Arctoolbox – data management tools – raster – raster processing – clip*. Y aparece esta ventana:

Ingresamos los respectivos datos:



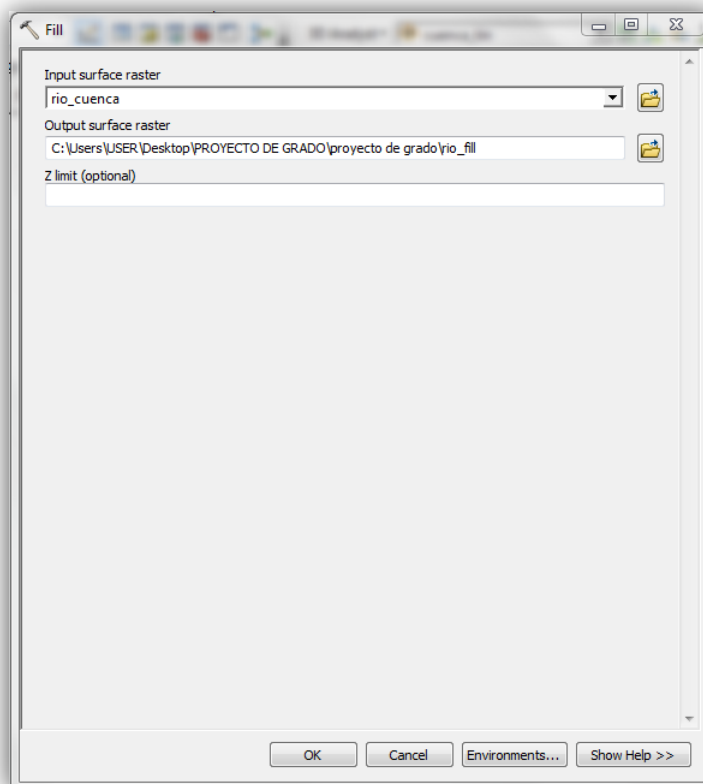
El recorte del raster quedaría de la siguiente manera:



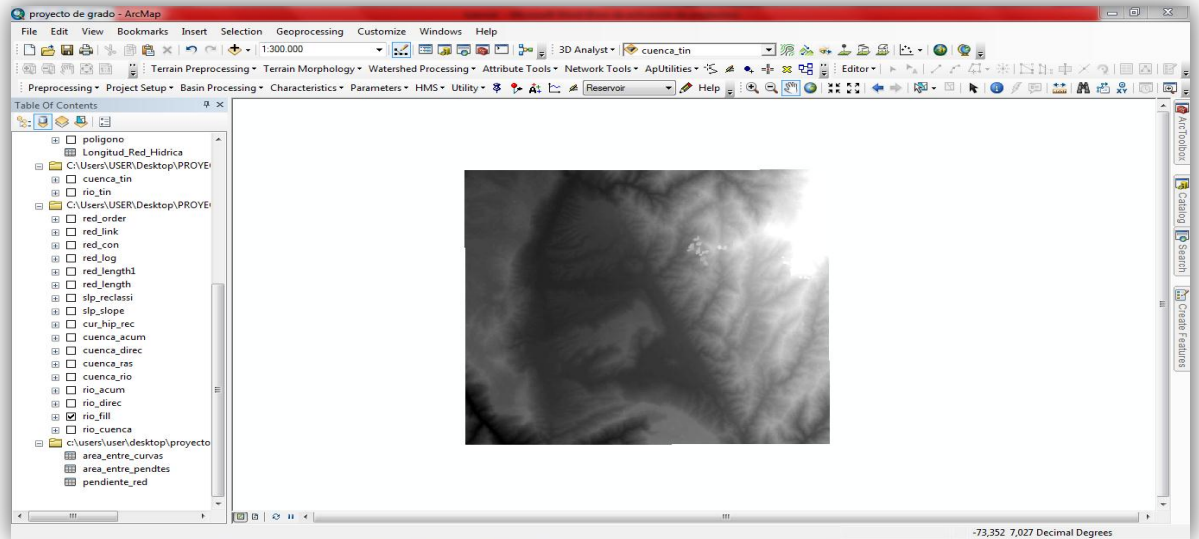
### PROCEDIMIENTO PARA LA DELIMITACION DE UNA CUENCA

Obtenido el raster hallaremos el *fill* que sería de la siguiente manera:

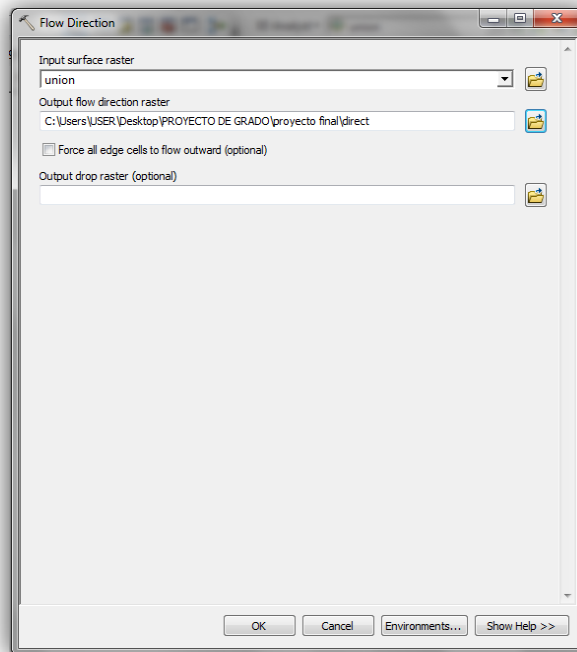
Vamos al menú *Arctoolbox – Spatial Analyst tools – Hydrology – Fill* y nos aparecerá la siguiente ventana:



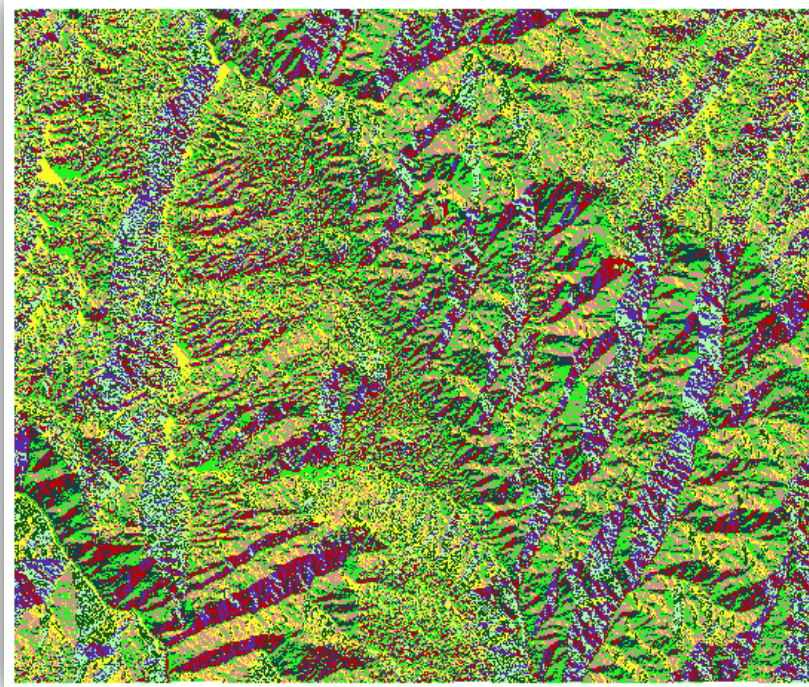
Esta herramienta lo que hace es corregir algunos errores que tiene el DEM al realizar la descarga.



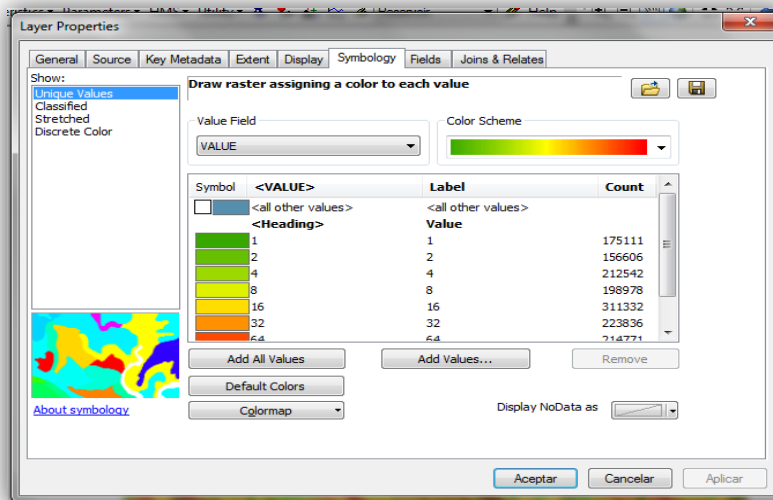
Obtenido el raster hallaremos el flujo de dirección que sería de la siguiente manera:  
Vamos al menú *Arctoolbox – Spatial Analyst tools – Hydrology – Flow Direction* y nos aparecera la siguiente ventana:  
Ingresamos los datos necesarios y damos click en *ok*.



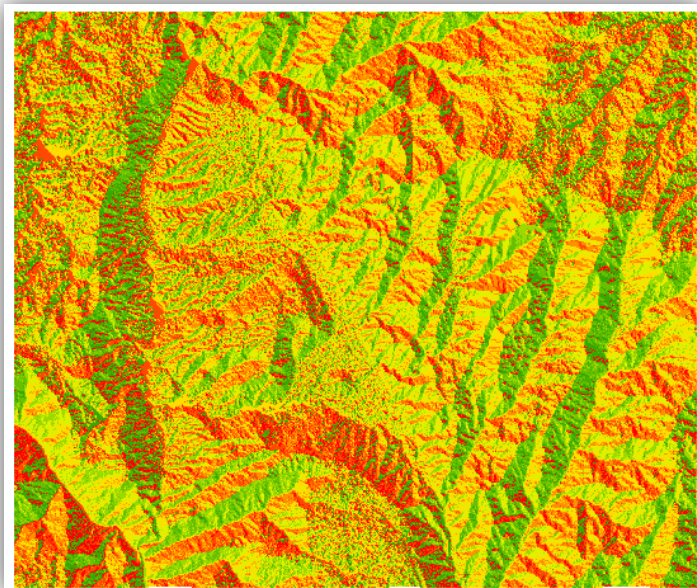
Saldría de esta forma, pero le podemos cambiar el estilo para q se vea mejor



Para cambiarle el estilo se haría de la siguiente forma:  
Click derecho en *Propiedades* y nos aparecerá esta ventana y hacemos los cambios pertinentes



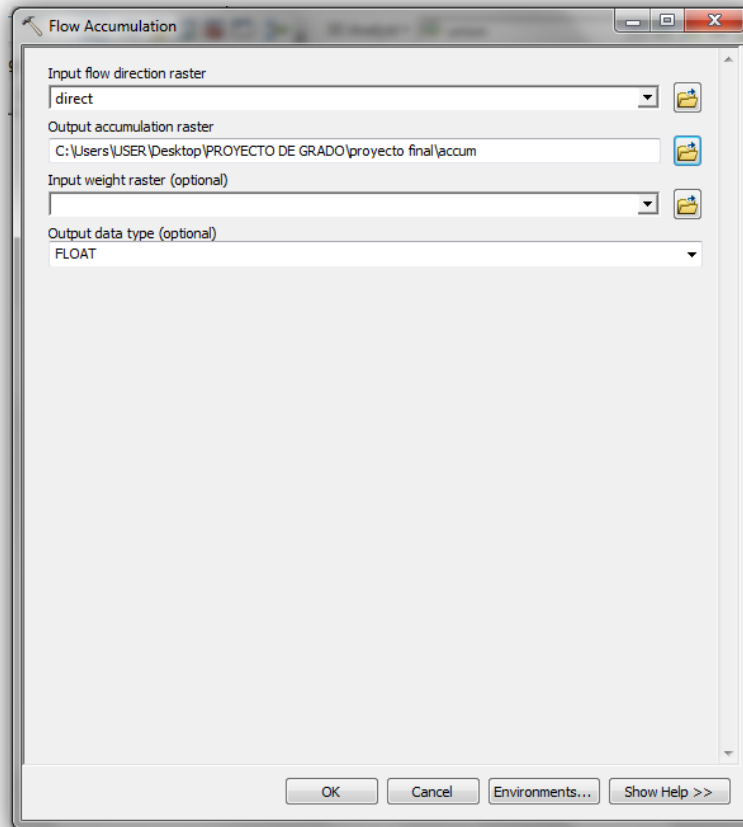
El DEM quedaría de la siguiente forma:



Ahora hallaremos el flujo acumulado que sería de la siguiente manera:

Vamos al menú *Arctoolbox – Spatial Analyst tools – Hydrology – Flow Accumulation* y nos aparecera la siguiente ventana:

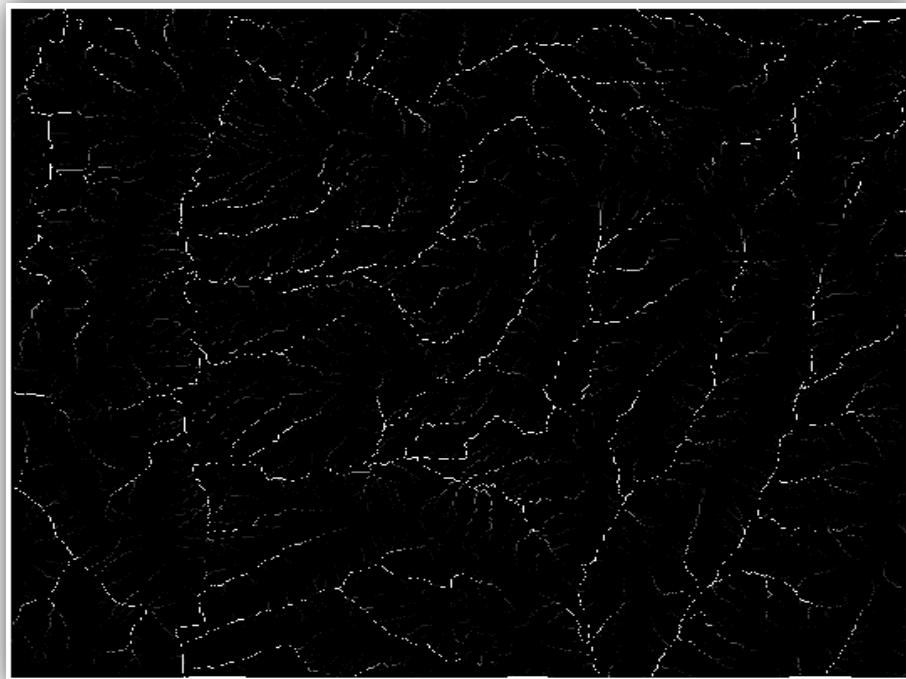
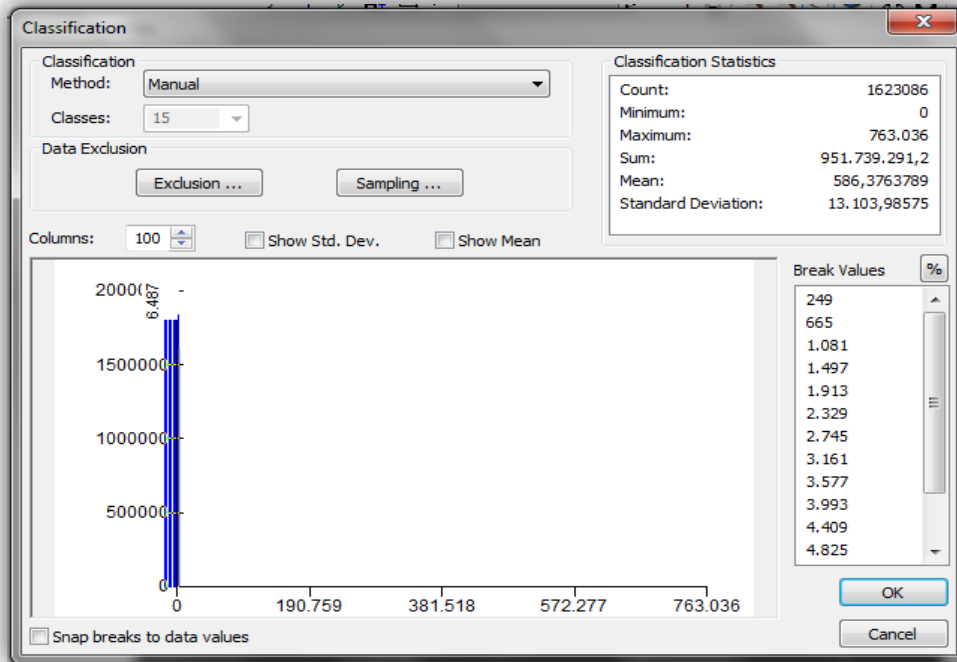
Ingresamos los respectivos datos así:



Damos click en *ok*.

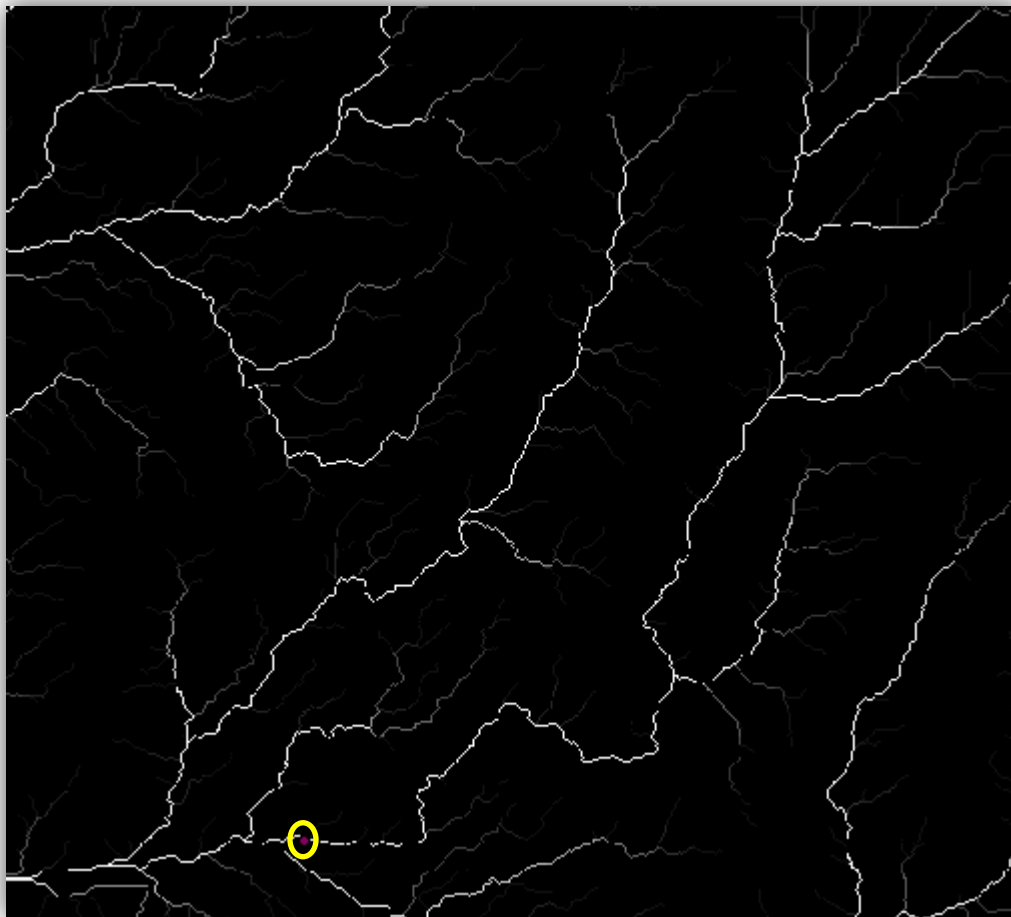


Como no es muy visible el flujo acumulado procedemos a realizar un cambio de rangos para hacerlo un poco más visible damos click derecho en el raster del flujo acumulado y en menú *Propiedades* buscamos la herramienta *Symbology* y hacemos los respectivos cambios y obtenemos lo siguiente paso a seguir es hacerle unos cambios para verlo más visible aplicando el zoom y haciendo la respectiva búsqueda se logra encontrar el área de estudio que sería la siguiente:



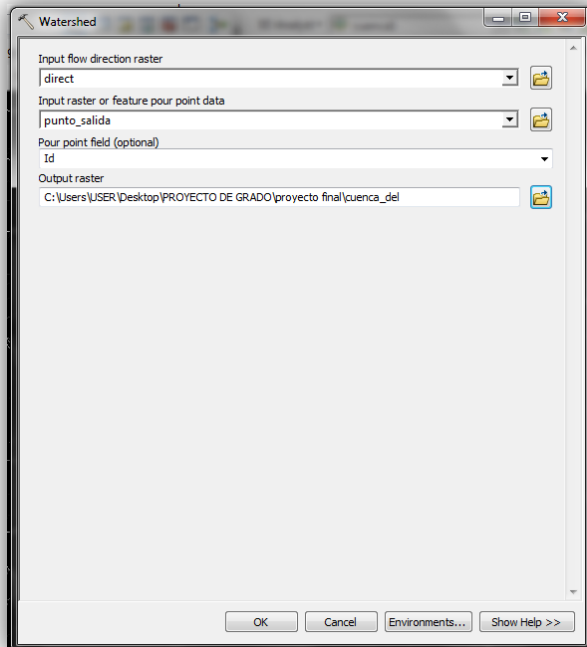
Ahora se procede a realizar la DELIMITACION DE LA CUENCA.

Como primer paso ubicamos el punto de salida de la cuenca es el mismo procedimiento para realizar el recorte solo que ahora es un punto:

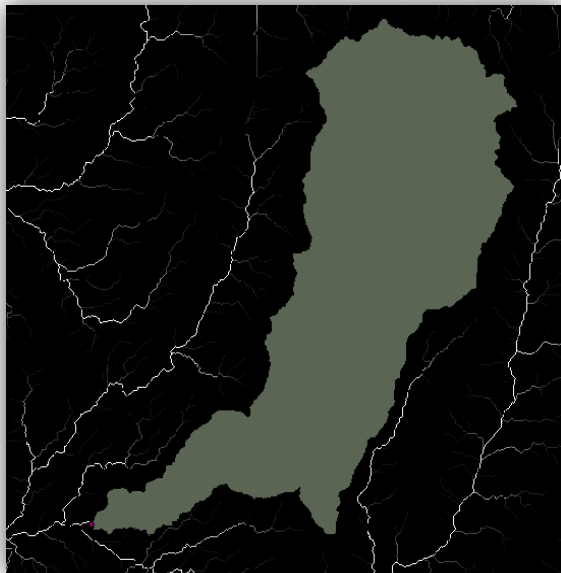


Para delimitar la cuenca buscamos en el menú: *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Hydrology – Watershed* y nos aparece esta ventana:

Ingresamos los respectivos datos y damos click en ok.

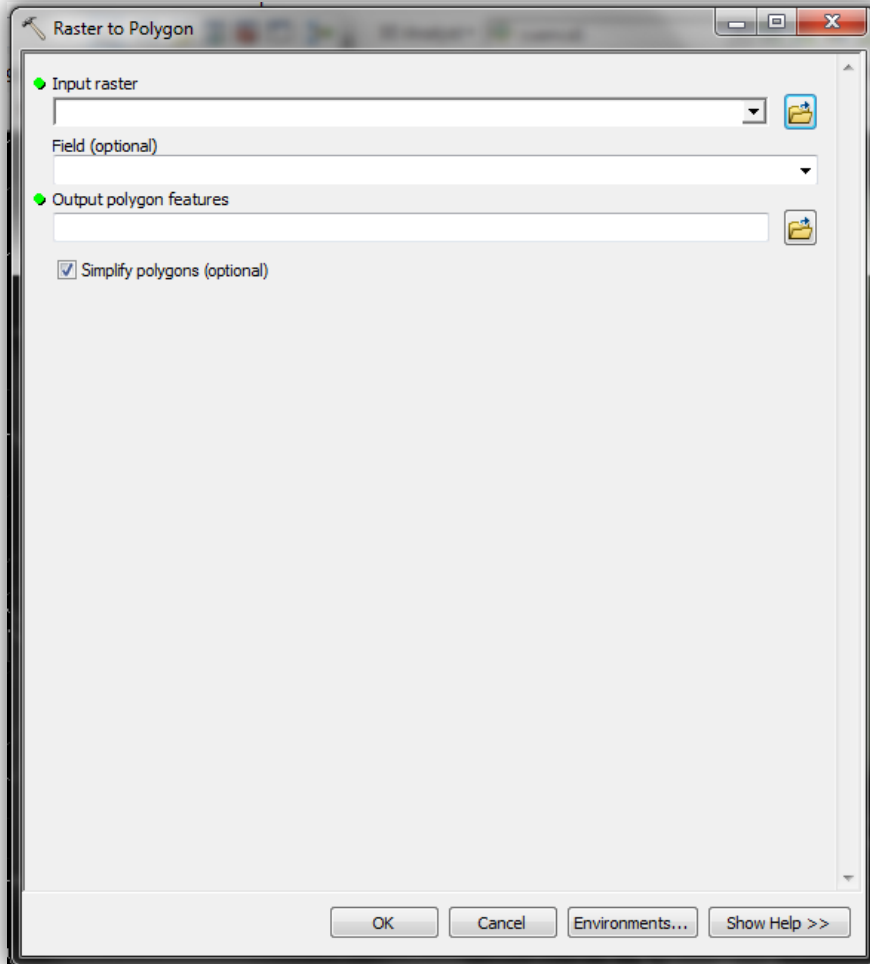


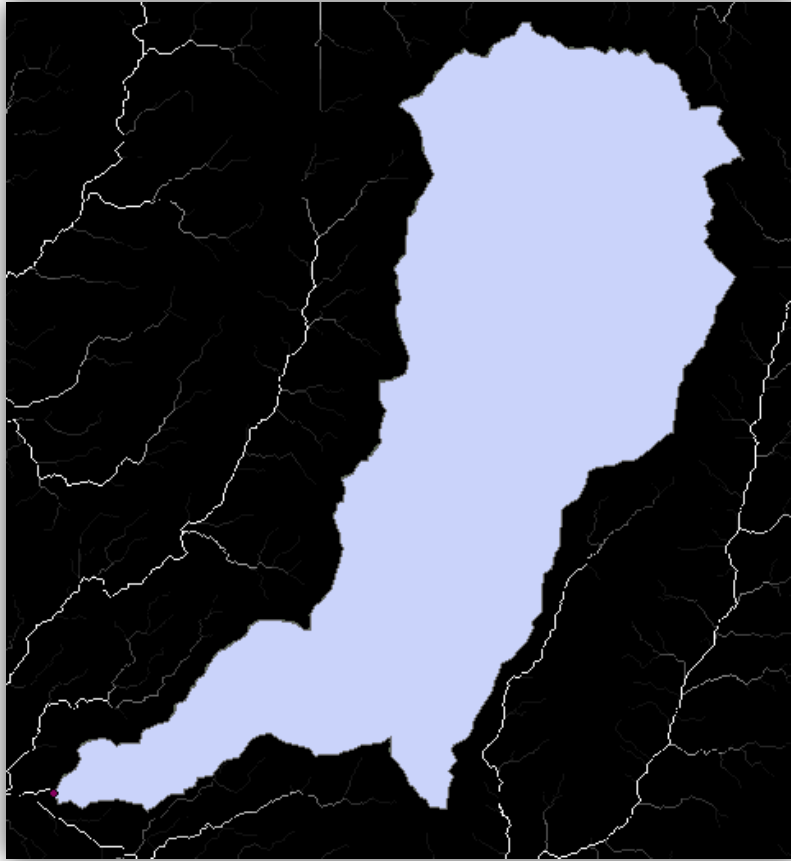
Así se vería la cuenca delimitada en formato raster:



Y así se vería en formato shapefile:

Damos click en: *Arctoolbox – conversión tools – From raster – raster to polygon* y nos da esta ventana:





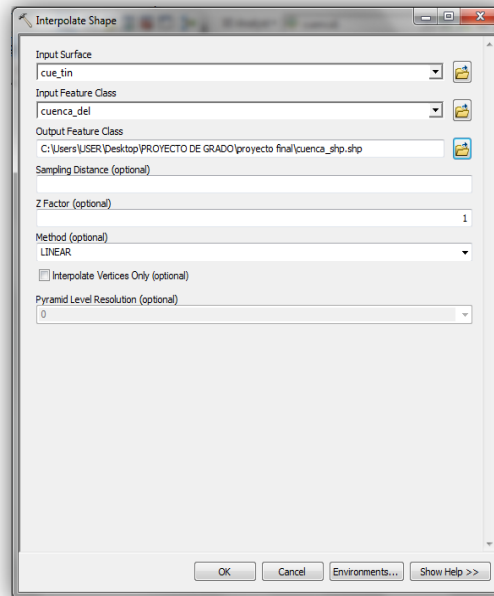
Se ingresan los datos necesarios y damos click en ok.

De esta forma se concluiría la parte que se ocupa de la delimitación de una cuenca.

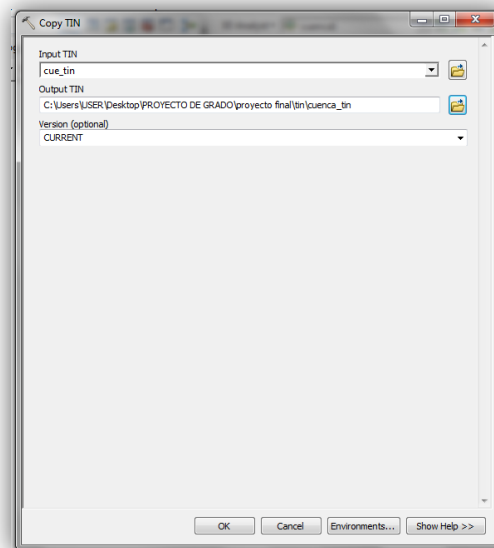
#### CALCULO DE LOS PARAMETRO MORFOMETRICOS DE UNA CUENCA

Teniendo la cuenca delimitada buscamos la herramienta *interpolate shape* para la distribución de alturas sobre la superficie: *Arctoolbox – 3d Analyts tools – functional surface – interpolate shape*:

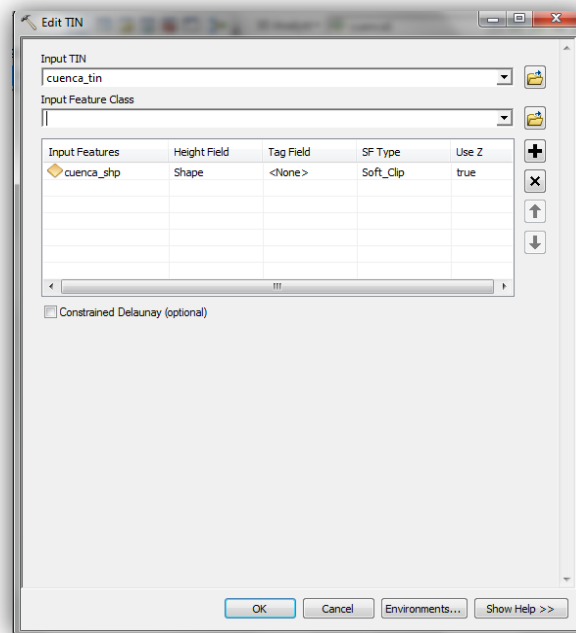
Ingresamos los datos correspondientes y finalmente click en ok.



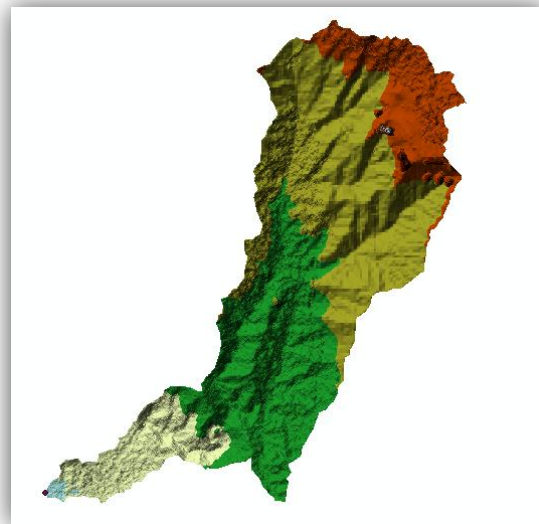
Ahora hallaremos el archivo TIN pero para la cuenca delimitada, antes de eso para mayor seguridad se crea una copia del tin: *Arctoolbox – 3d Analyst tools – data management – tin – copy tin* se ingresan los datos respectivos y se da click en ok.



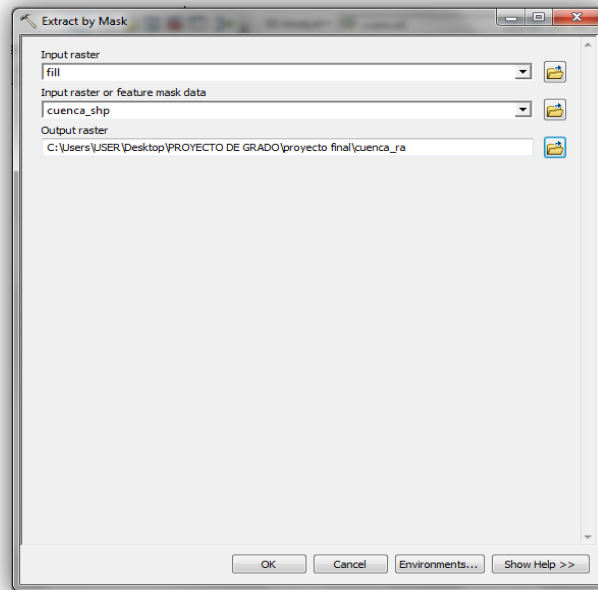
Paso a seguir editar el tin, es decir, cortarlo: *Arctoolbox – 3d Analyst tools – data management – tin – edit tin* se ingresan los datos respectivos y click en ok.



La cuenca quedaría de la siguiente forma:



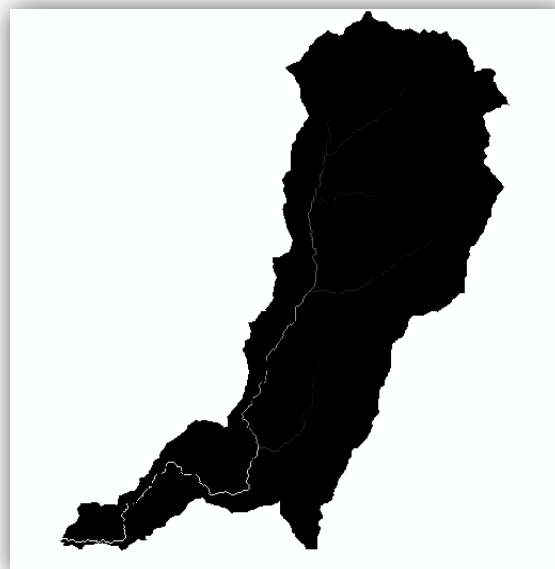
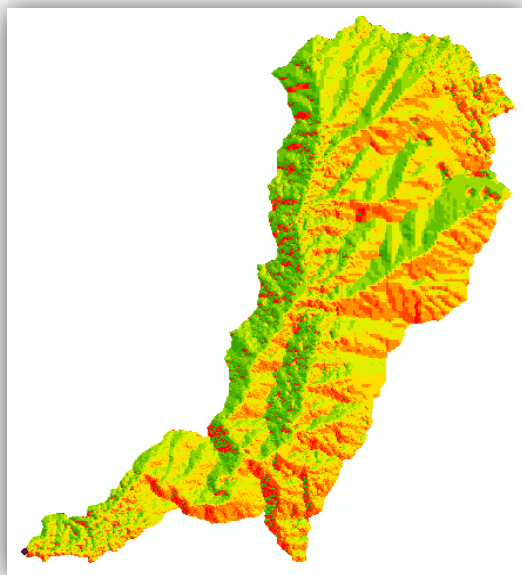
Ahora le hacemos lo mismo al raster pero solo de la cuenca: *Arctoolbox – Spatial Analyst tools – extraction – extract by mask :*



Y la cuenca raster se vería así:

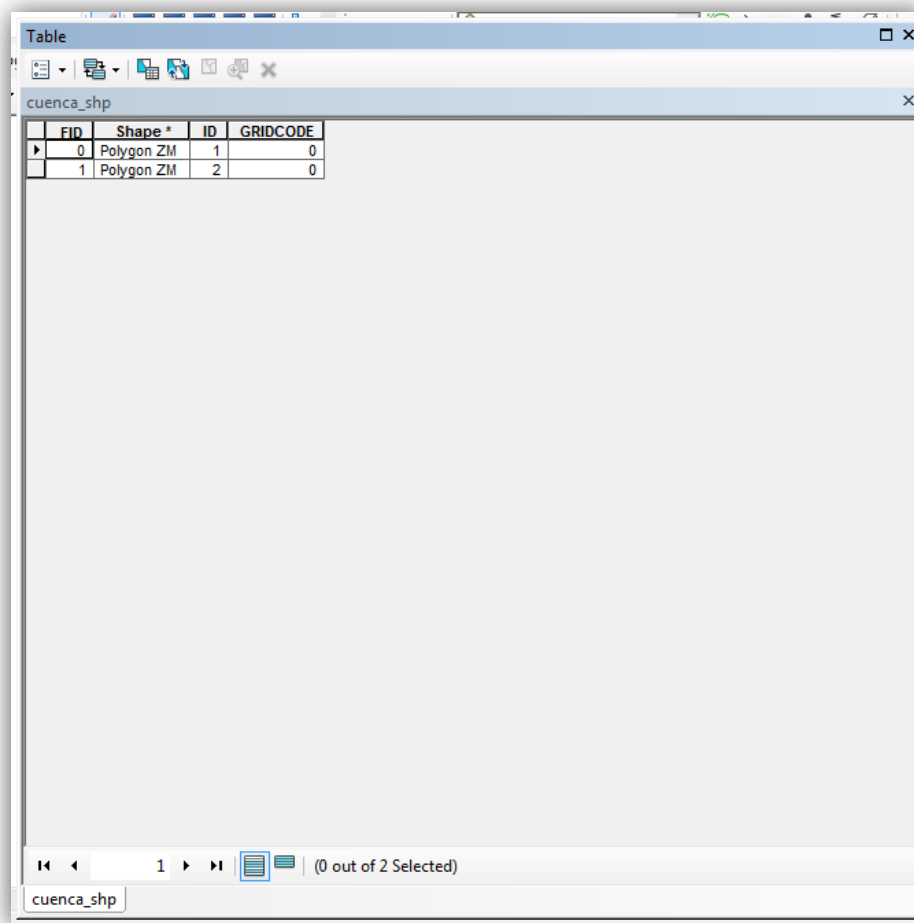


El mismo procedimiento tanto para el flujo de dirección como para el flujo acumulado:



Ahora procederemos al cálculo del: AREA, PERIMETRO, COTA MAXIMA DE LA CUENCA, COTA MINIMA DE LA CUENCA, X\_CENTROIDAL, Y\_CENTROIDAL Y Z\_CENTROIDAL

Para cada uno de ellos se realiza el mismo procedimiento y es de la siguiente forma: se le da click derecho al archivo llamado *cuenca\_shp* y click en la opción *open attribute table* y nos aparece esta ventana:



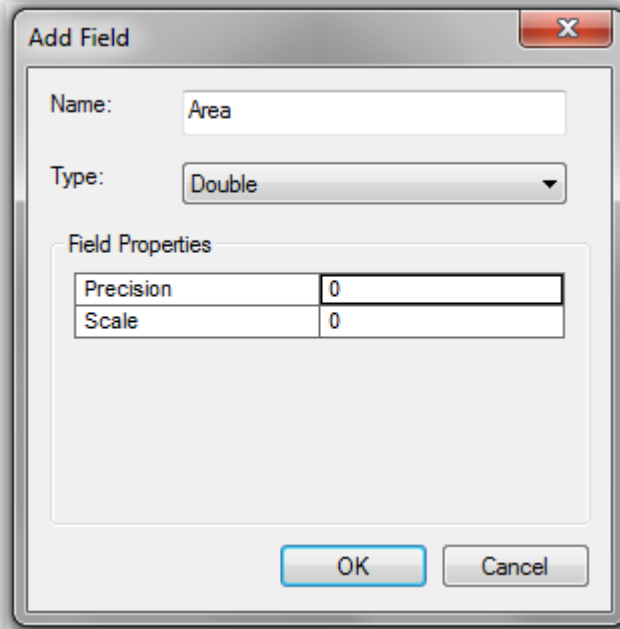
The screenshot shows a 'Table' window in a GIS application. The window title is 'Table' and the file name is 'cuenca\_shp'. The table contains the following data:

FID	Shape*	ID	GRIDCODE
0	Polygon ZM	1	0
1	Polygon ZM	2	0

The window also shows a toolbar with various icons and a status bar at the bottom indicating '(0 out of 2 Selected)'.

En este recuadro damos click en el menú *table options* y escogemos la opción *add field* :

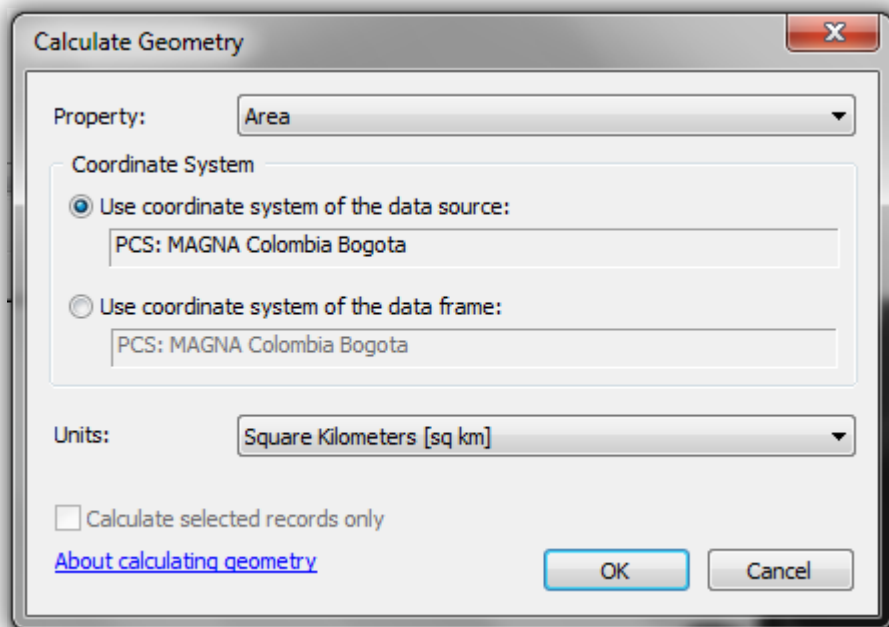
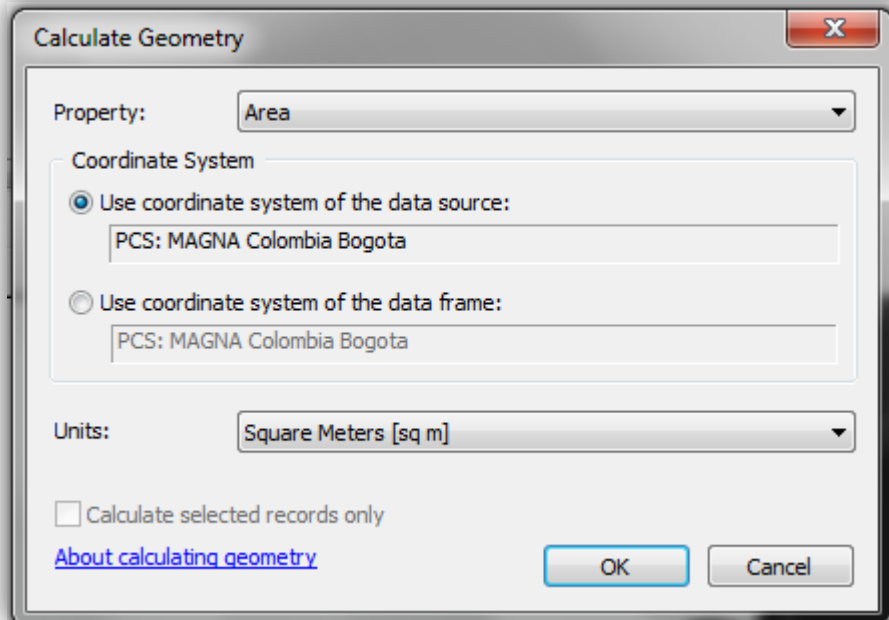




La tabla de atributos con todos los datos se vería así:

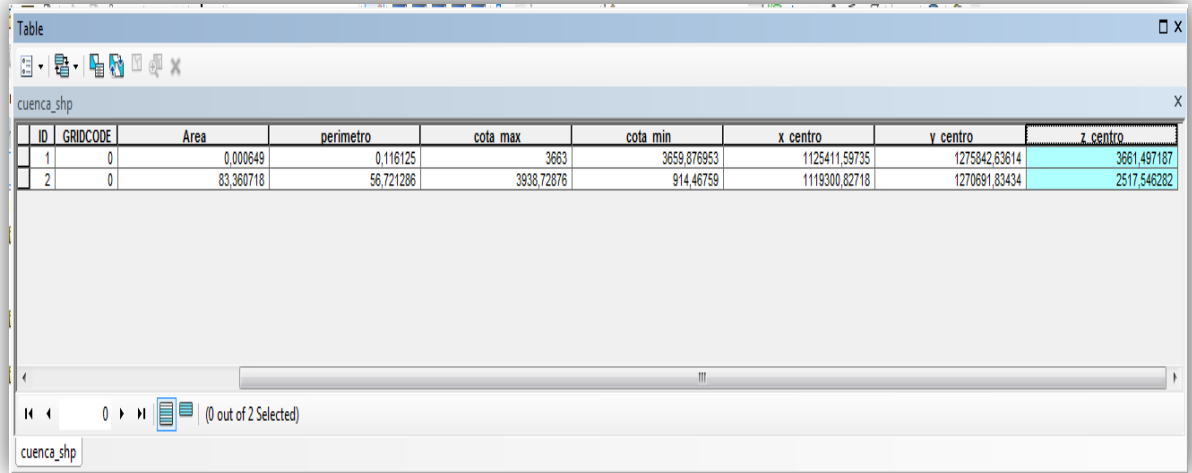
ID	GRIDCODE	Area	perimetro	cota max	cota min	x centro	y centro	z centro
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0

Se procederá a calcular cada uno de estos valores de la siguiente manera se le da click derecho en el campo a calcular y la opción *calculate geometry* se le da click en yes y aparece la siguiente ventana:



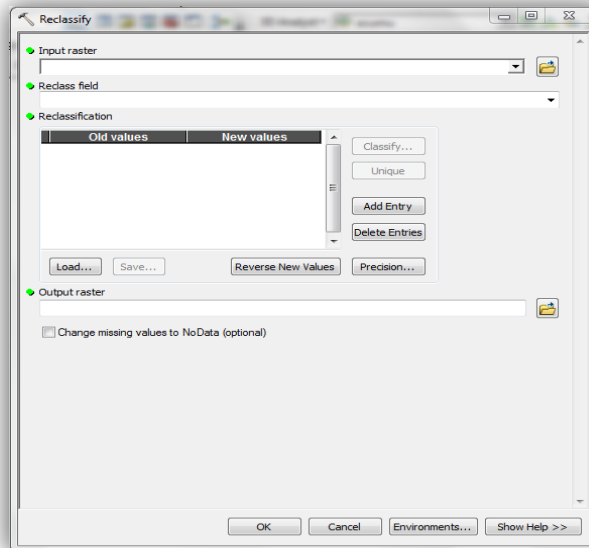
Solo el área y el perímetro vienen expresados en kilómetros [km] los demás valores en metros [m]

Damos click en ok y después en el botón yes y en la asilla aparece calculado el área y así sucesivamente con los demás datos los resultados se verían así:

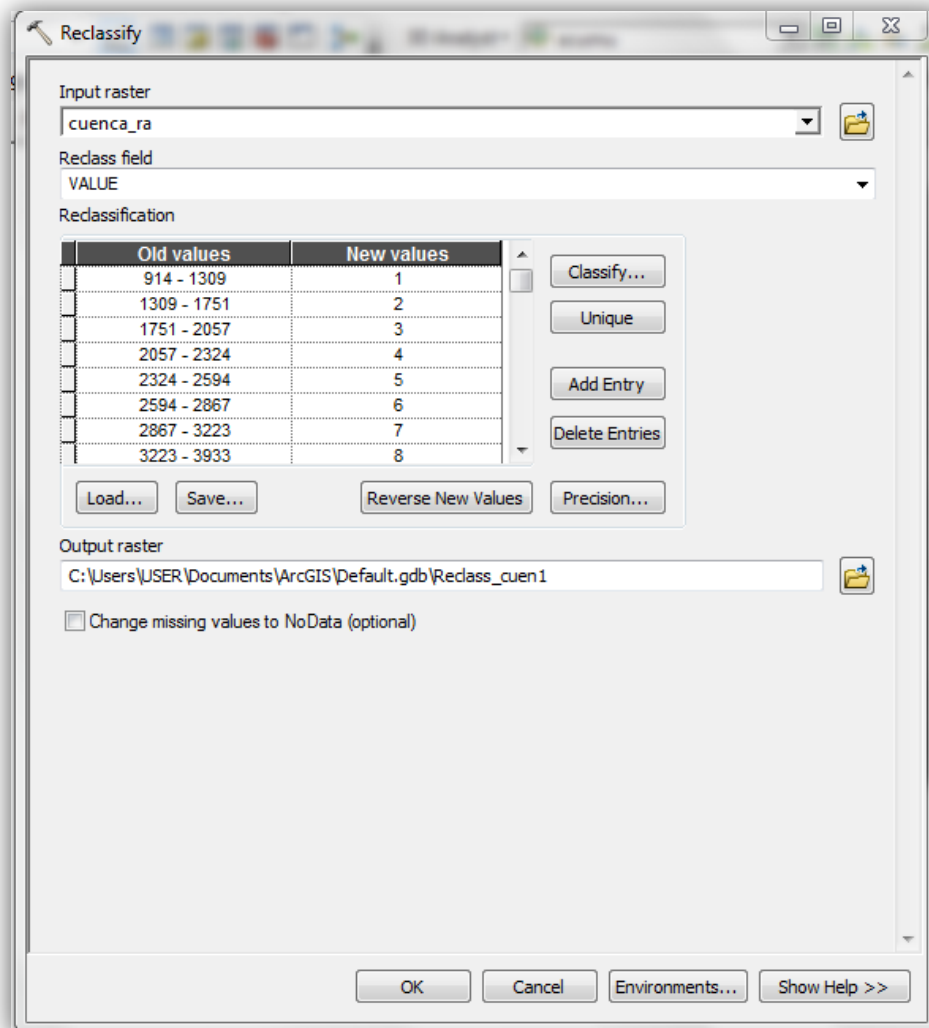


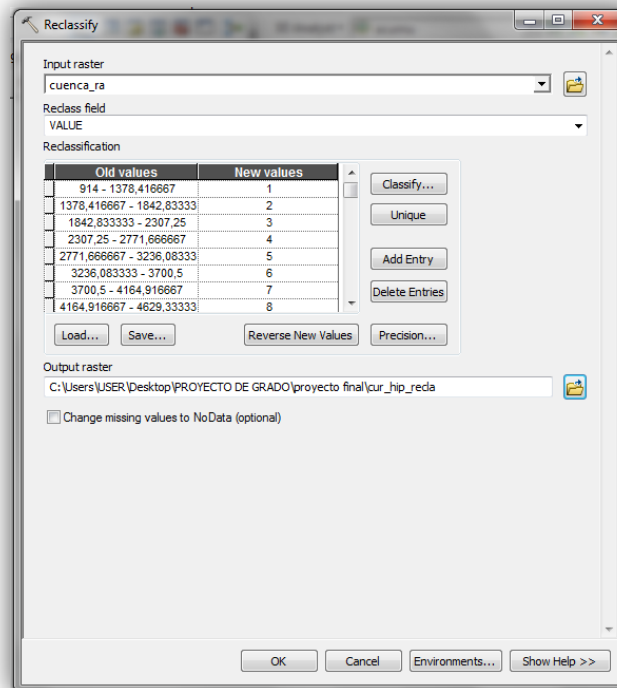
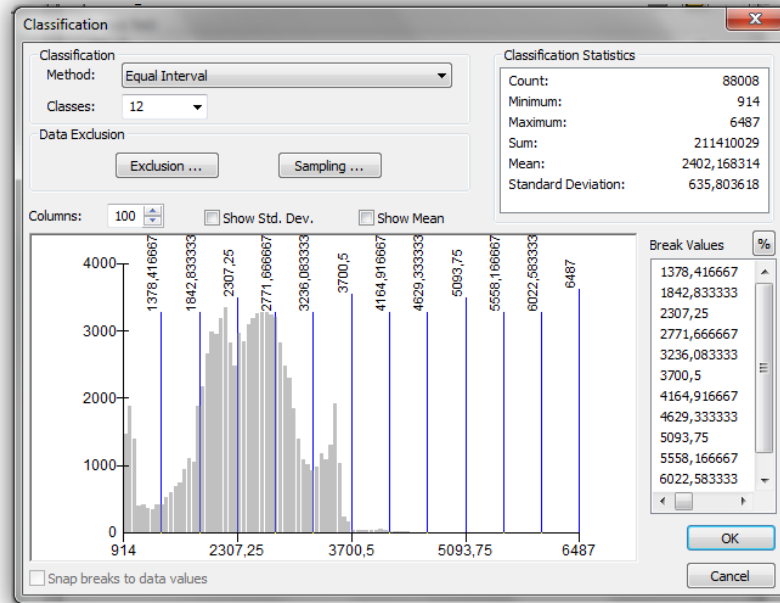
ID	GRIDCODE	Area	perimetro	cota max	cota min	x centro	y centro	z centro
1	0	0,000649	0,116125	3663	3659,876953	1125411,59735	1275842,63614	3661,497187
2	0	83,360718	56,721286	3938,72676	914,46759	1119300,82718	1270691,83434	2517,546282

Paso a seguir se hallan los valores para poder graficar la curva hipsométrica: *arctoolbox – spatial analyst tools – reclass – reclassify* y se abre esta ventana:

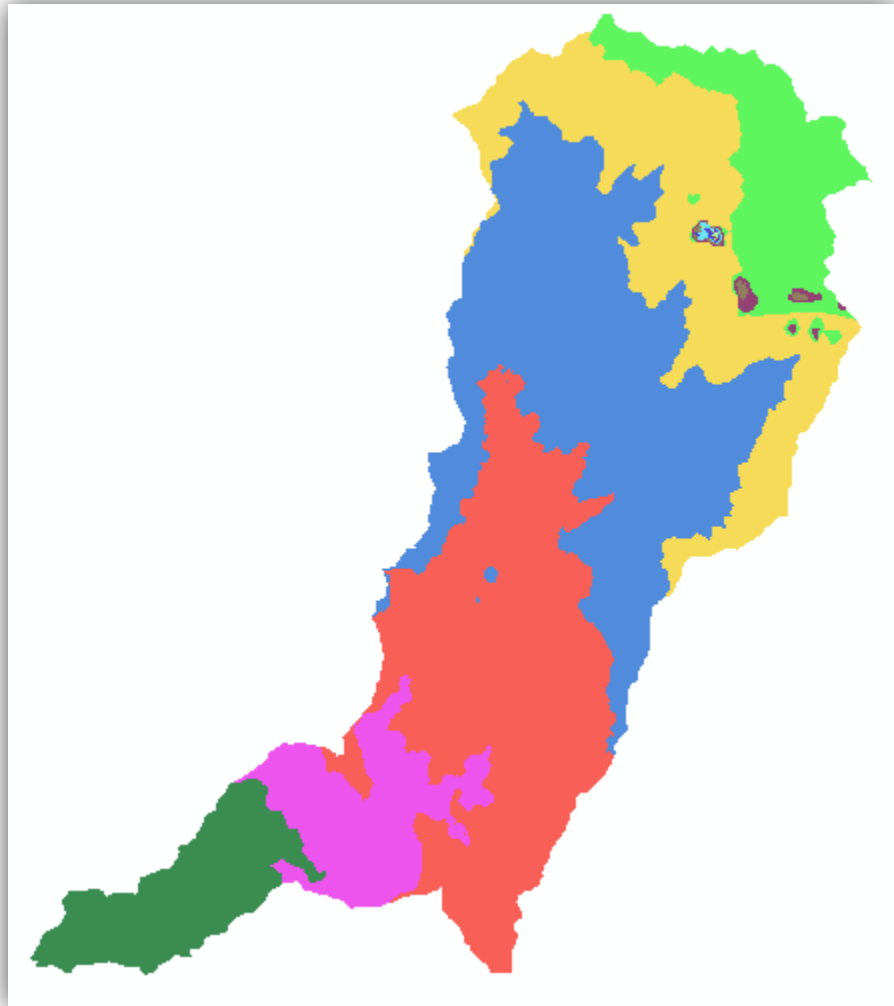


Se ingresan los datos correspondientes y se da ok.

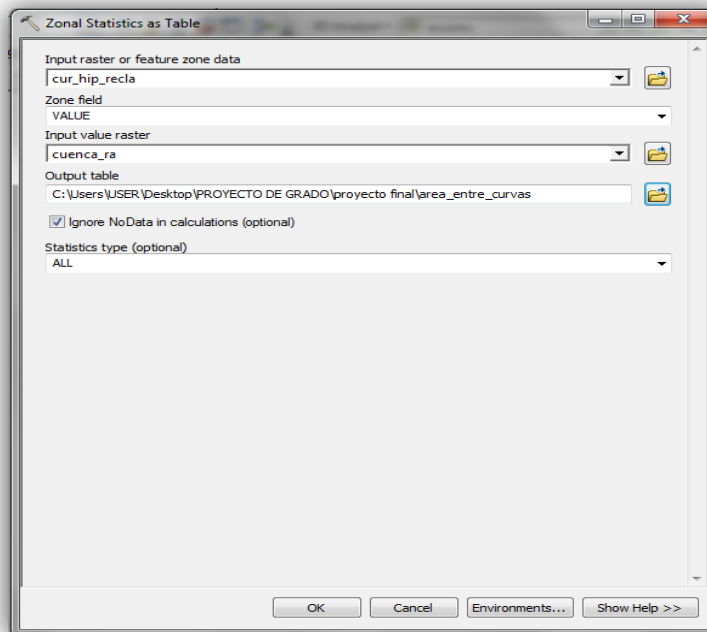




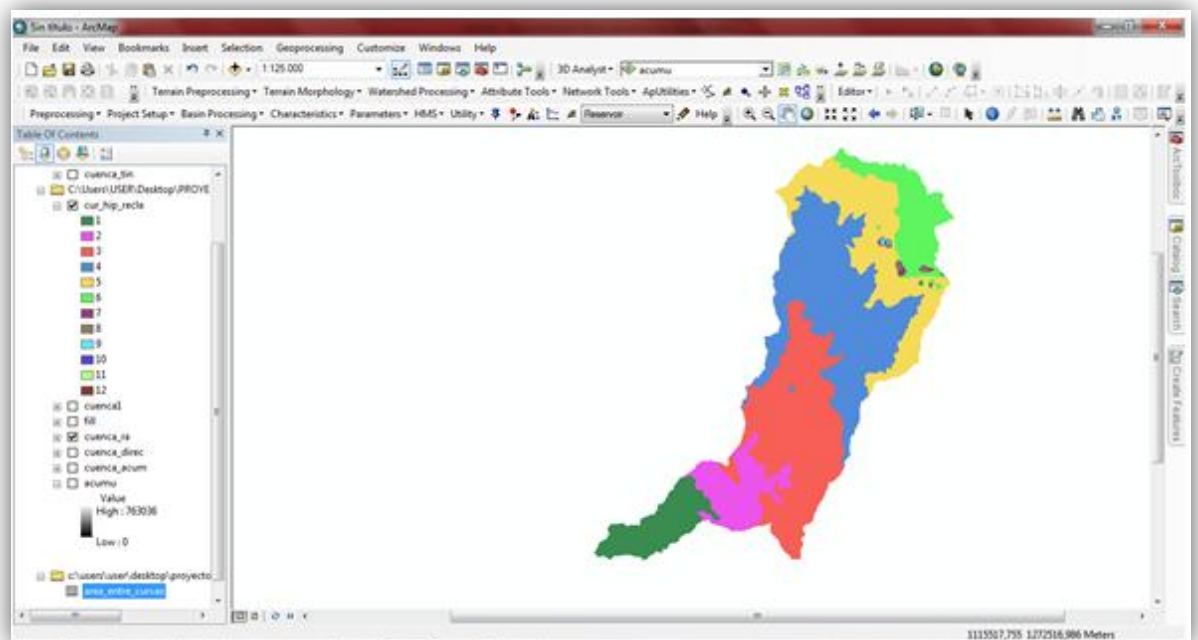
Esta sería la imagen de los valores de área para la curva hipsométrica y por medio de la herramienta: *arctoolbox – spatial analyst tools – zonal – zonal statistics as table* y nos muestra un archivo de tabla estadística:



Se ingresan los datos y click en ok



Nos aparece un archivo llamado área\_entre \_curvas: el que aparece seleccionado en la siguiente imagen:



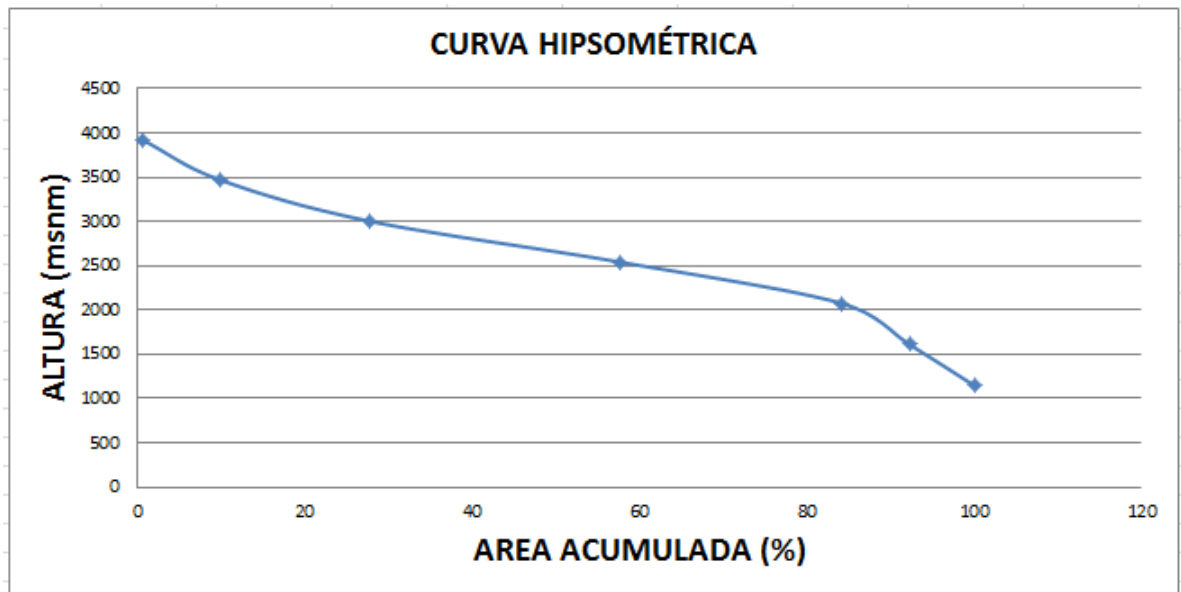
La damos click derecho y que nos muestre la tabla:

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
1	6812	6453138	914	1378	464	1068,261	122,6437	7280403	465	955	914	1029	
2	7129	6752491	1379	1842	463	1682,546	129,834	1185963	464	1814	1382	1684	
3	23272	2204601	1843	2307	464	2083,247	126,6936	4848133	465	2151	1844	2088	
4	26406	2501491	2308	2771	463	2545,613	132,5396	6721944	464	2358	2325	2551	
5	15678	1485207	2772	3236	464	2950,592	125,2666	4625938	465	2776	3192	2930	
6	8217	7784122	3237	3700	463	3434,868	104,4374	2822431	455	3414	3598	3446	
7	302	286990,4	3701	4149	448	3922,666	128,8924	1184645	226	4058	3701	3918	
8	104	98521,2	4169	4618	449	4337,567	117,9314	451107	90	4356	4173	4329	
9	45	42629,36	4635	5077	442	4864,667	141,1001	218910	44	4779	4635	4875	
10	33	31261,53	5096	5544	448	5318,151	142,1035	175489	31	5142	5096	5328	
11	9	8525,873	5579	5995	416	5712,444	131,5921	51412	9	5579	5579	5662	

Solo nos interesan los que están resaltados para pasarlos a Microsoft Excel organizarlos y dibujar la curva hipsométrica; organizados quedarían de la siguiente forma:

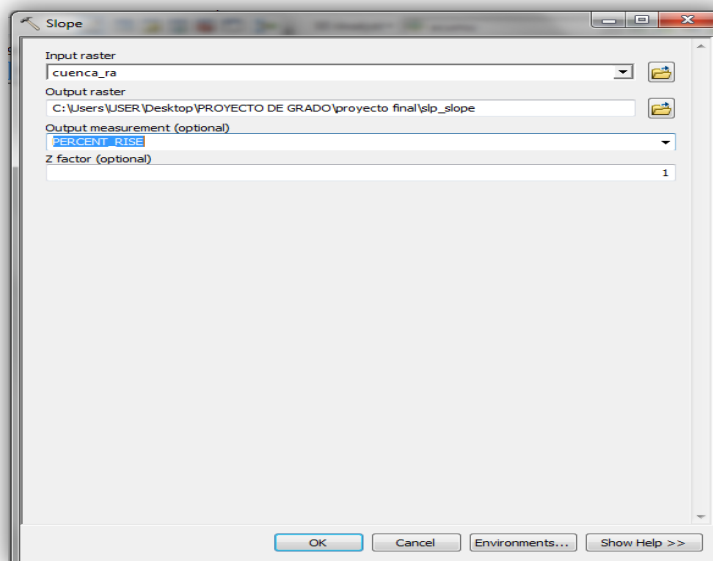
NRO	DOTAS (msnm)			AREA (km <sup>2</sup> )			
	MIN	MAX	PROM	INTERVALOS	ACUMULADO	% ACUMULADO	% INTERPOLACION
1	914	1378	1146	6,454727	83,2825489	100	7,750395594
2	1379	1842	1610,5	6,75118	76,8278219	92,24960441	8,106356121
3	1843	2307	2075	21,96122	70,0766419	84,14324829	26,36953394
4	2308	2771	2539,5	25,04226	48,1154219	57,77371434	30,06903647
5	2772	3236	3004	14,80846	23,0731619	27,70467787	17,78098797
6	3237	3700	3468,5	7,79587	8,264701898	9,923689905	9,360748564
7	3701	4149	3925	0,2860348	0,468831898	0,562941341	0,343451064
8	4169	4618	4393,5	0,09850206	0,182797098	0,219490278	0,11827455
9	4635	5077	4856	0,04262109	0,084295038	0,101215728	0,051176496
10	5096	5544	5320	0,03125546	0,041673948	0,050039232	0,037529423
11	5579	5995	5787	0,008524217	0,010418488	0,012509809	0,010235298
12	6471	6487	6479	0,001894271	0,001894271	0,002274511	0,002274511

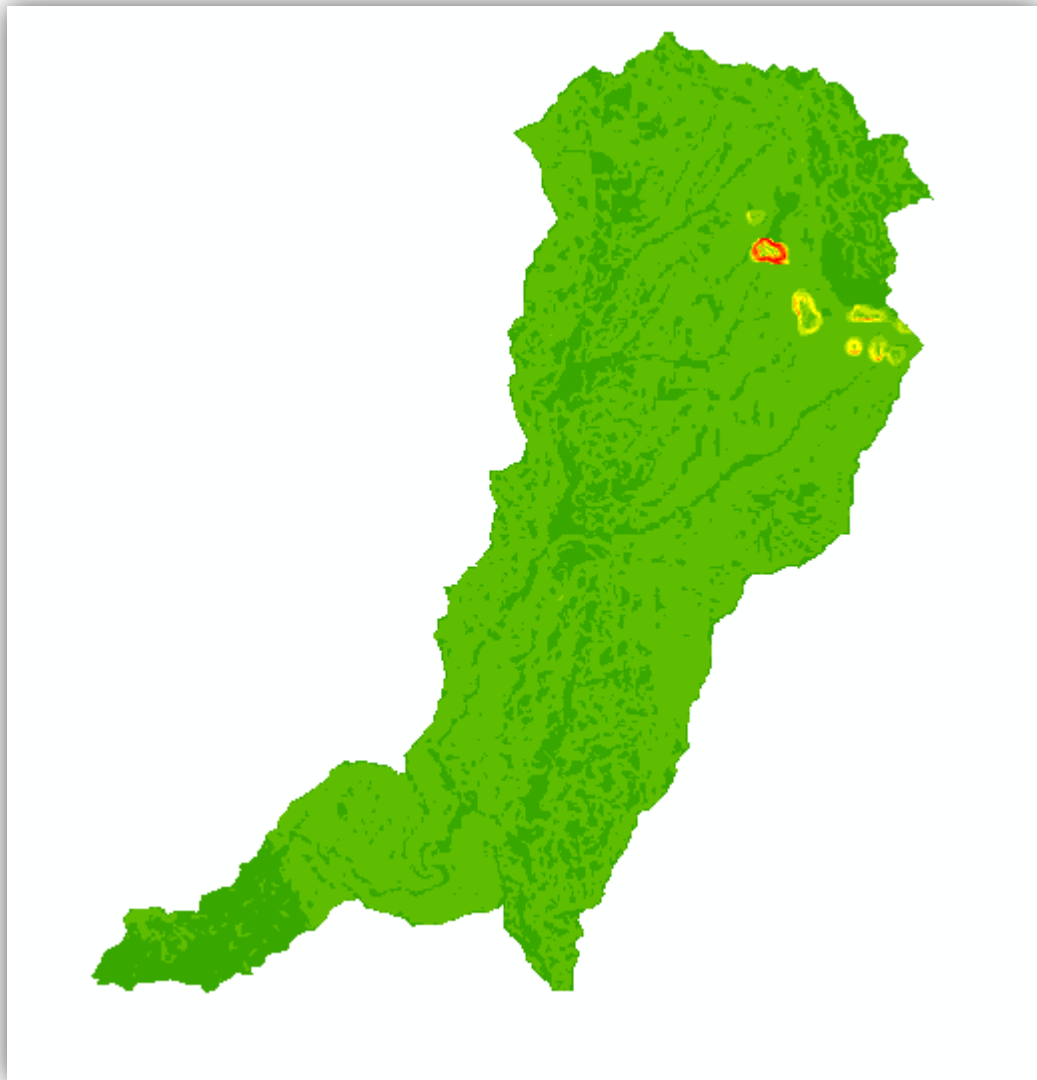
Y la curva hipsométrica quedaría de la siguiente manera



Ahora hallaremos la pendiente promedio de la cuenca: *arctoolbox – spatial analyst tools – surface – slope* y nos aparece esta ventana:

Se ingresan los datos y se le da ok.





Se puede reclasificar como una tabla para verlo mejor: *arctoolbox – spatial analyst tools – reclass – reclassify* y después en: *arctoolbox – spatial analyst tools – zonal – zonal statistics as table* para visualizar la tabla correspondiente:

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	1	87170	8257782	0	336.2545	336.2545	40.87622	24.5779	3563180
2	2	404	382716.9	337.5285	672.8878	335.3614	494.6719	97.70105	199847.5
3	3	214	202726.3	673.4957	1007.883	334.3868	820.1243	101.514	175508.8
4	4	65	80522.13	1013.705	1345.34	331.8357	1154.92	100.3868	98168.16
5	5	53	50207.92	1347.17	1670.137	322.9674	1515.01	95.82147	80295.52
6	6	32	30314.21	1693.568	2015.304	321.7363	1862.422	98.68384	59587.52
7	7	22	20841.02	2037.206	2320.352	283.1459	2164.945	92.10242	47628.79
8	8	17	16104.43	2390.847	2643.985	253.1377	2524.24	77.84392	42912.08
9	9	7	6631.234	2695.677	2847.31	251.6333	2788.261	82.31963	19517.83
10	10	4	3789.277	3095.476	3368.444	270.968	3250.001	115.17	13000

Solo nos interesa la casilla del count

Organizando los datos en Excel quedarían así:

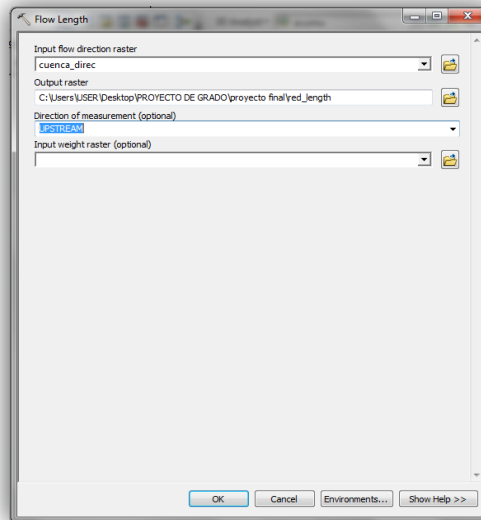
NRO	RANGO PENDIENTE (%)			OCURRENCIAS (2)	(1) * (2)
	INFERIOR	SUPERIOR	PROMEDIO (1)		
1	0	10	5	87151	435755
2	10	20	15	404	6060
3	20	30	25	214	5350
4	30	40	35	85	2975
5	40	50	45	53	2385
6	50	60	55	32	1760
7	60	70	65	22	1430
8	70	80	75	17	1275
9	80	90	85	7	595
10	90	100	95	4	380

Realizando los cálculos necesarios la hallaremos la pendiente promedio de la cuenca:

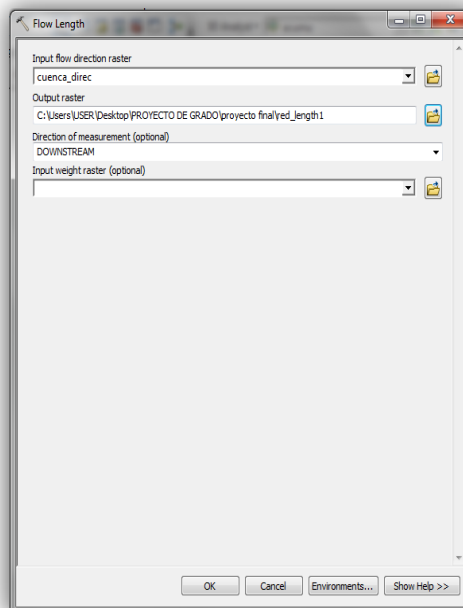
Se suman las casillas por aparte de ocurrencias y (1)\*(2) y después se dividen (1)\*(2) entre ocurrencias y así hallamos la pendiente promedio de la cuenca y el resultado daría

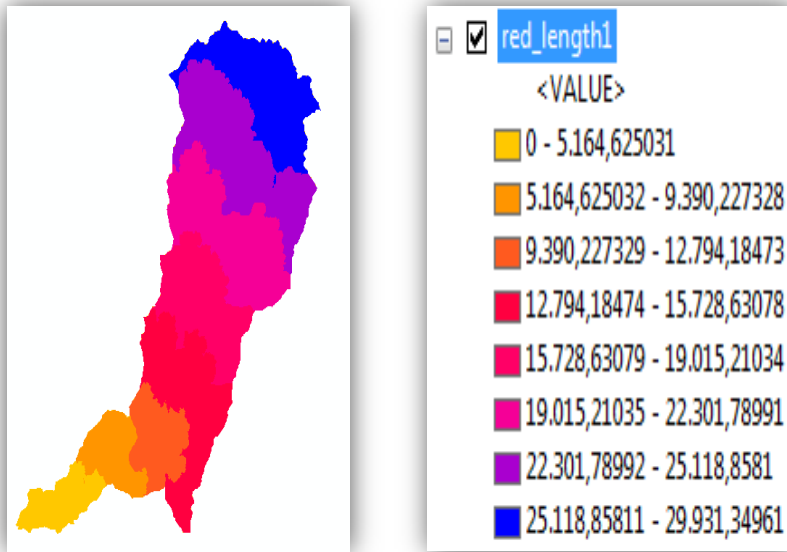
<b>PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA</b>	=	<b>5,2048</b>	%
-------------------------------------	---	---------------	---

El siguiente paso es hallar la longitud del cauce principal y se hace de la siguiente manera:  
 Nos ubicamos en la herramienta: *arctoolbox – spatial analyst tools – hydrology – flow length*.  
 Se ingresan los datos correspondientes y se da click en ok.



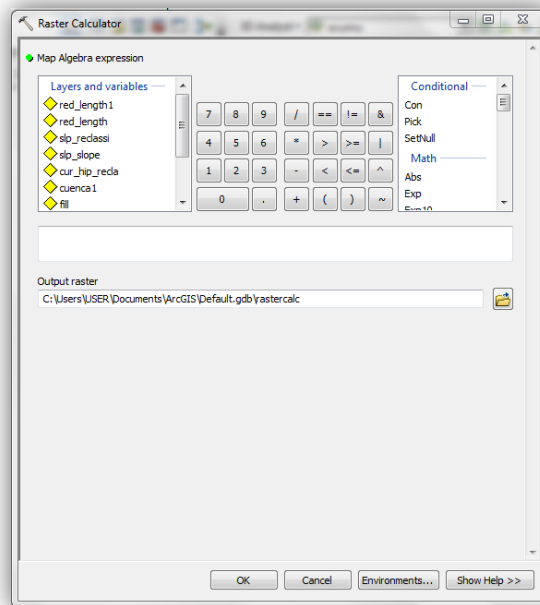
Para visualizar mejor la longitud del cauce principal se hace lo siguiente: *arctoolbox – spatial analyst tools- hydrology – flow length*



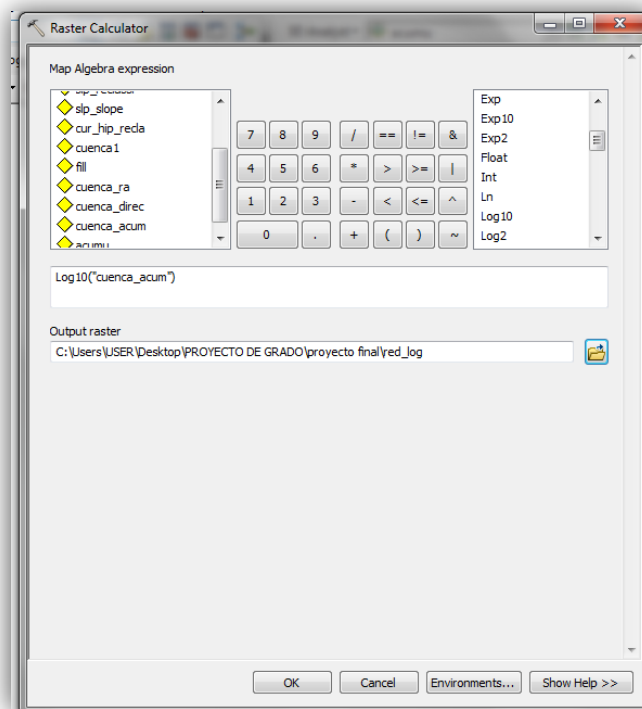


Podemos observar que la longitud del cauce principal es de aproximadamente 30 km  
Paso siguiente la obtención de la red hídrica:

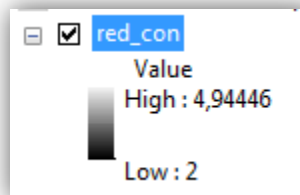
*Arctoolbox – spatial analyst tools – map algebra – raster calculator*



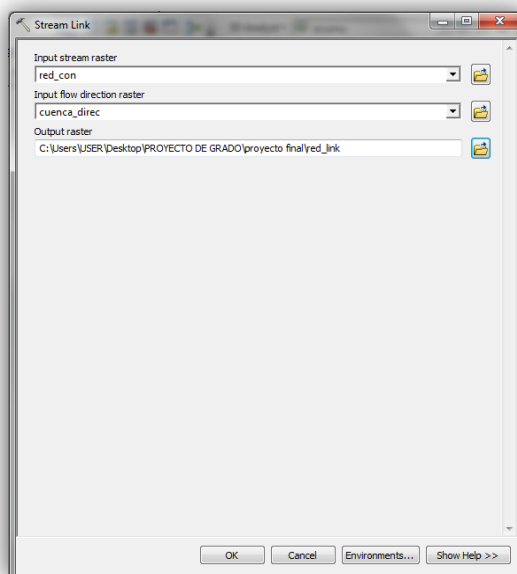
Se ingresan los datos pertinentes y se da click en ok.



Nos arroja este archivo

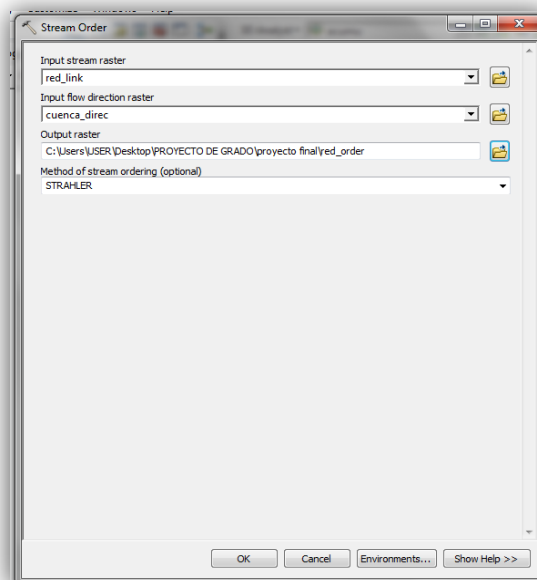


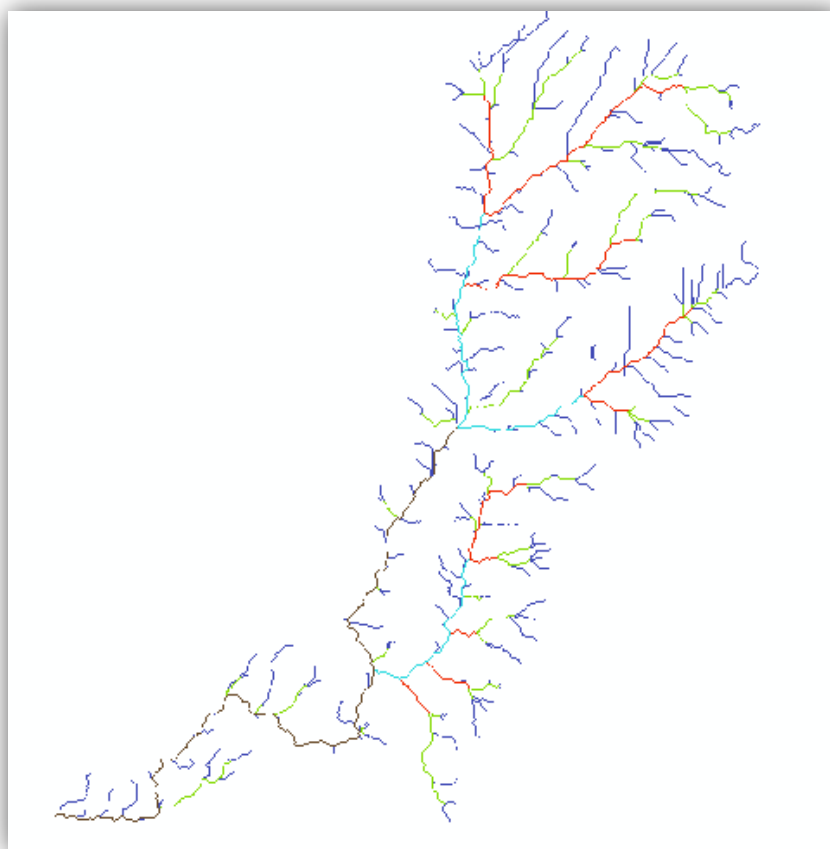
Para visualizarlo mejor se hace el siguiente procedimiento:  
*Arctoolbox – spatial analyst tools – hydrology – stream link*  
Se ingresan los datos y damos click en ok.



Y después se ordena con la herramienta: *arctoolbox – spatial analyst tools – hydrology – stream order*

Ubicamos los datos y damos click en ok.

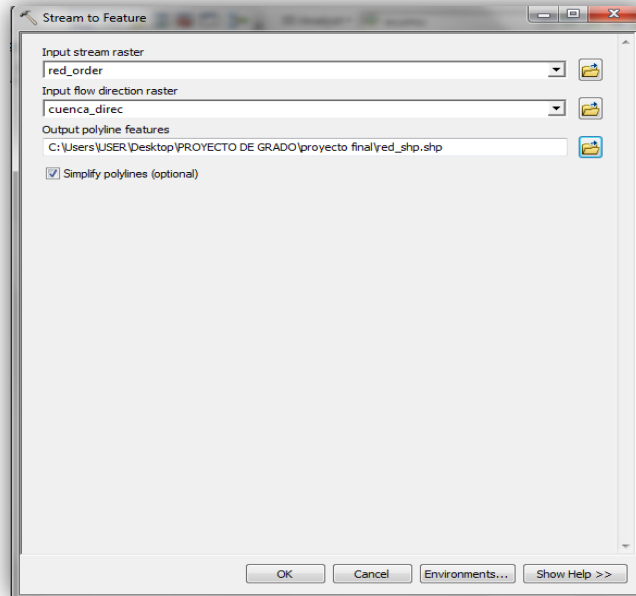




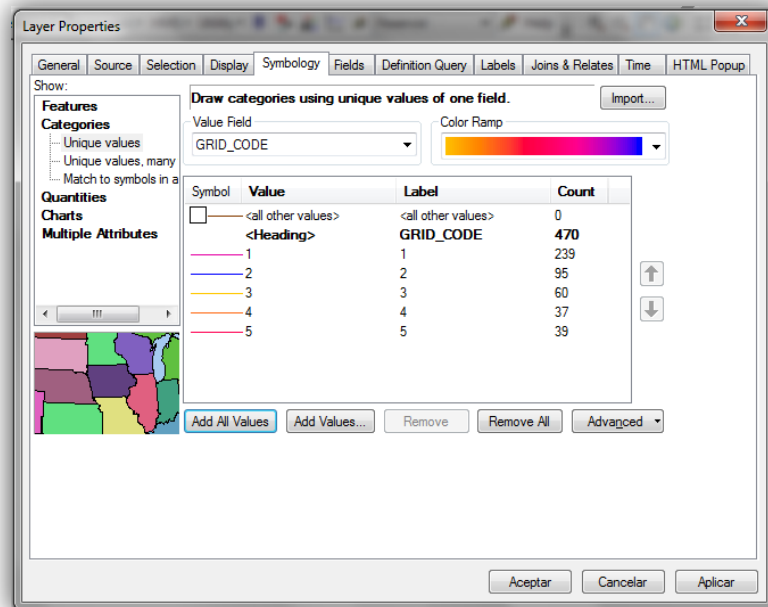
Para visualizarlo mejor se hace lo siguiente:

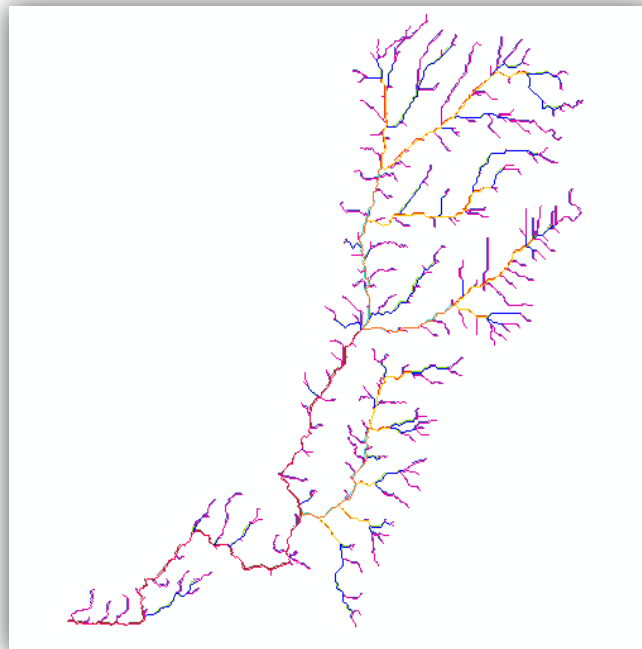
*Arctoolbox – spatial analyst tools – hydrology – stream to feature*

Se ingresan los datos y click en ok.

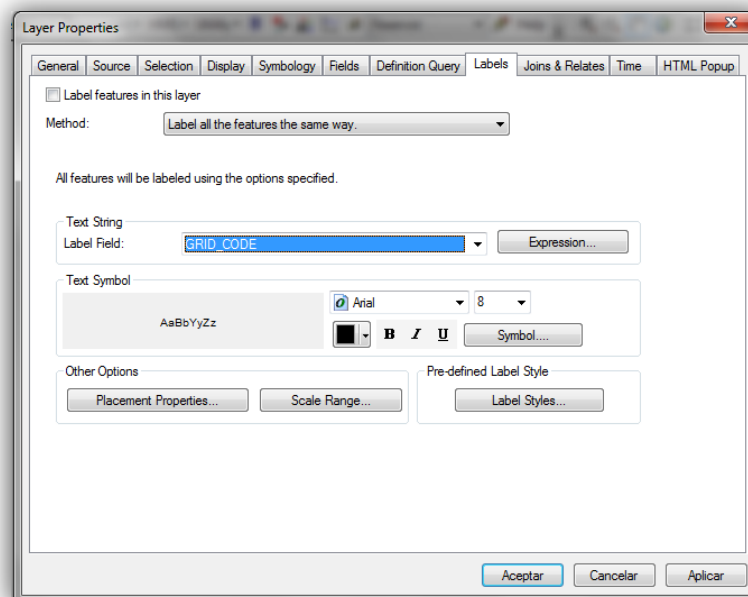


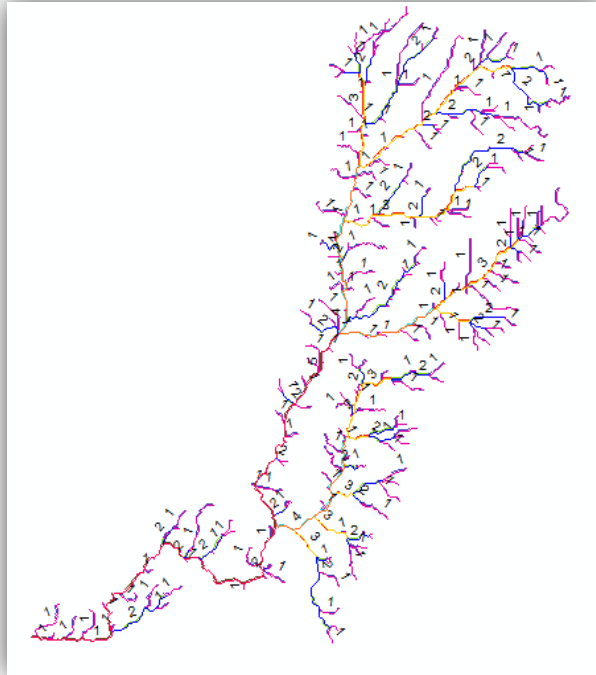
Cambiando un poco sus propiedades tenemos los siguientes:





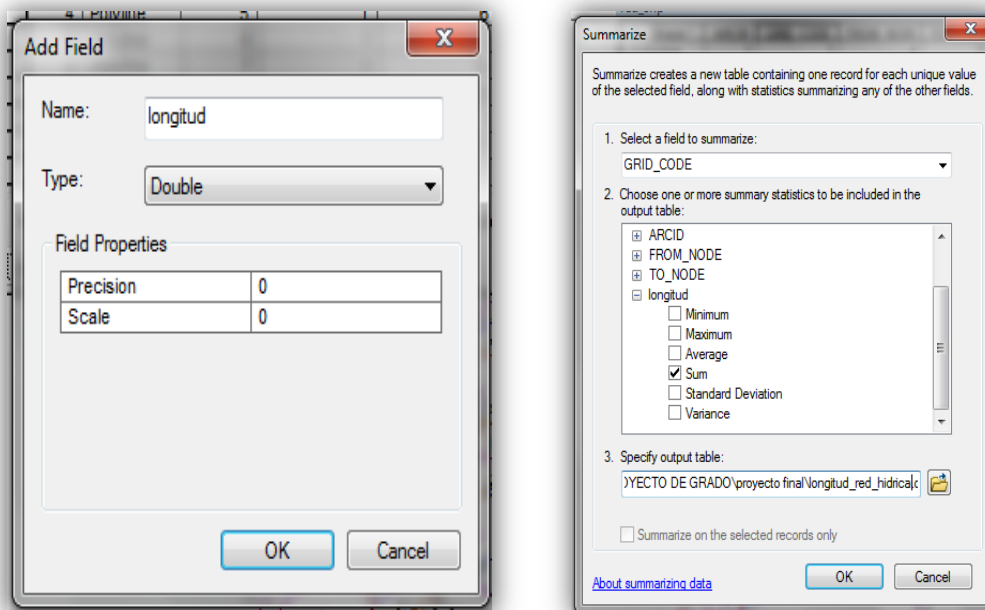
Para visualizar el orden de la red hídrica le hacemos unos cambios a las propiedades:



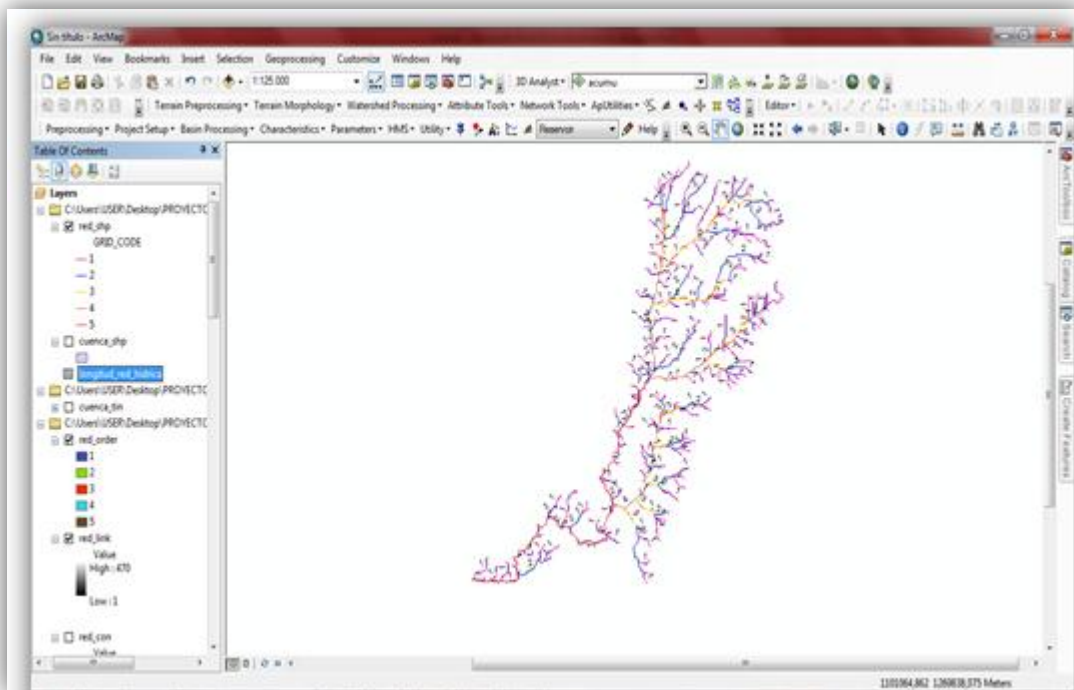


En la imagen podemos observar que la red hídrica tiene un orden de corriente número 5.

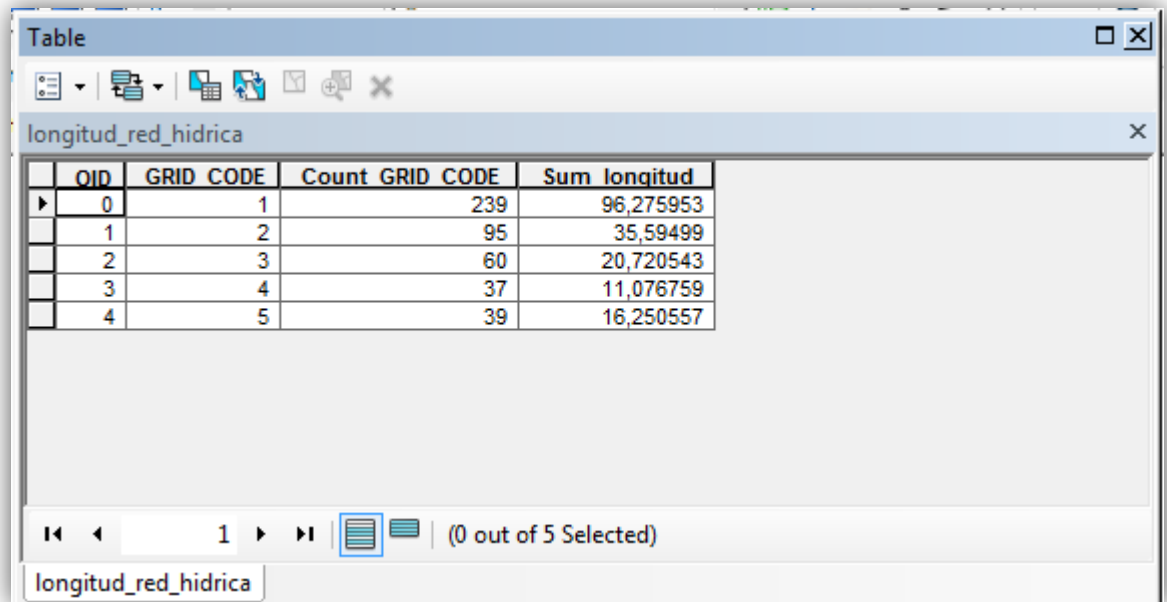
Para hallar la longitud de la red hídrica buscamos la tabla de atributos del archivo `red_shp` creamos un nuevo campo le ponemos el nombre y en el tipo de valor le damos double y realizamos la siguiente operación: click derecho en el campo longitud, seguido damos click en la opción *calculate geometry* , seguido damos click derecho en el campo *grid\_code* buscamos la opción *summarize* en la opción *longitud – sum – longitud\_red\_hidrica*



Y nos aparece una tabla



Abrimos el archivo y tenemos lo siguiente



The screenshot shows a window titled 'Table' with a toolbar and a table. The table has the following data:

OID	GRID CODE	Count	GRID CODE	Sum	longitud
0	1	239		96,275953	
1	2	95		35,59499	
2	3	60		20,720543	
3	4	37		11,076759	
4	5	39		16,250557	

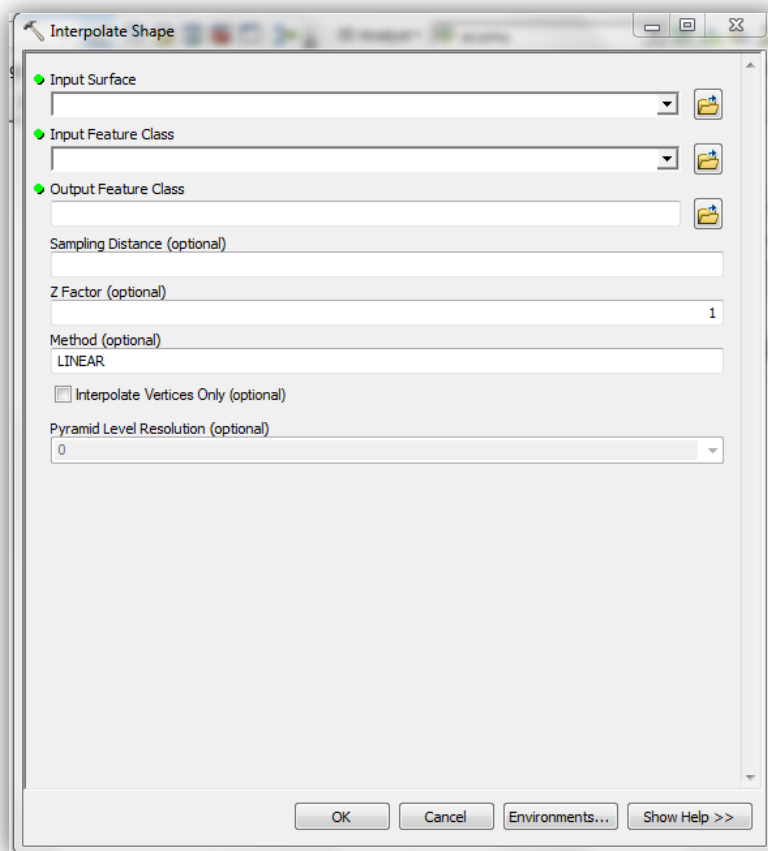
Ya organizándolo en Excel tendremos lo siguiente

ORDEN DE LA RED	LONGITUD EN KM
1	94,129
2	38,188
3	20,747
4	11,111
5	16,254

Realizando la sumatoria nos daría un valor de 180,43 km

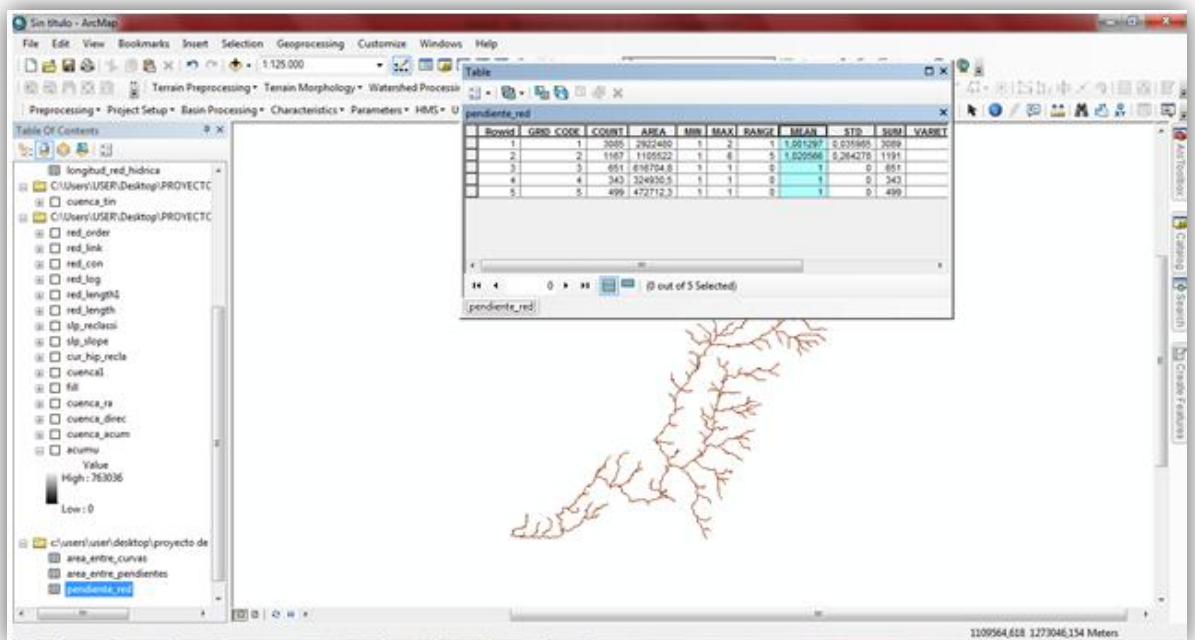
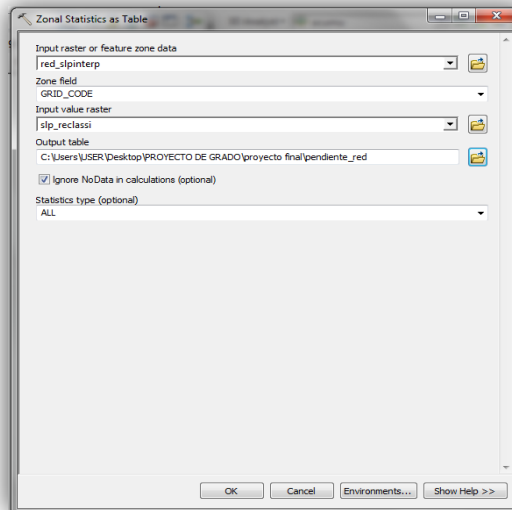
Ahora calculamos el promedio de la pendiente promedio de la red hídrica:

*Arctoolbox – 3d analyst tools – functional surface – interpolate shape*



Se ingresan los datos

Buscamos las estadísticas del archive *arctoolbox – spatial analyst tools – zonal – zonal statistict as table*

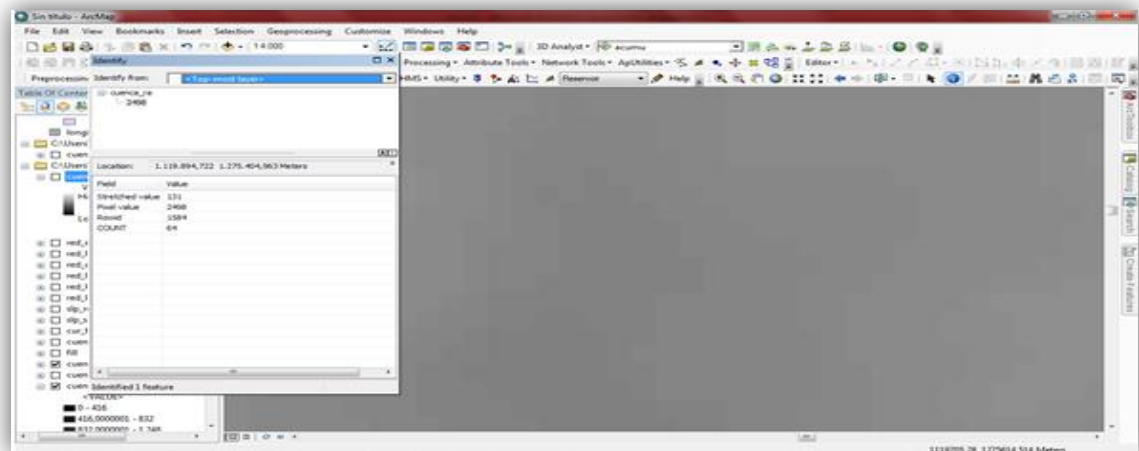


Organizándola en Excel quedaría de la siguiente forma

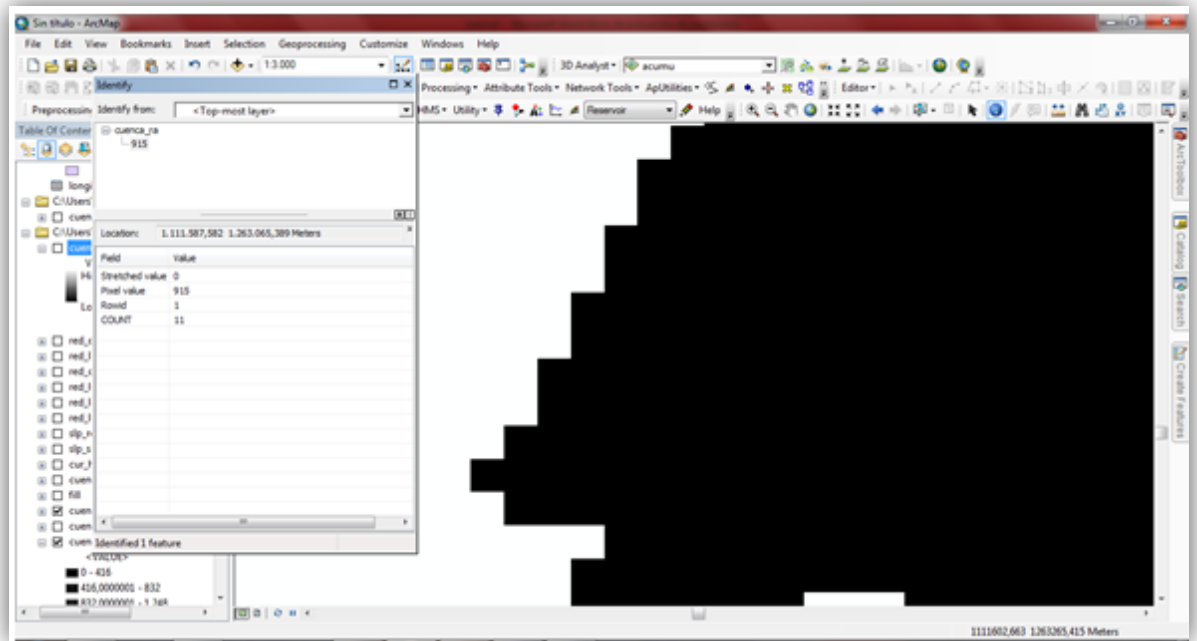
Rdnw	BRID_CO	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORIT	MINORIT	MEDIAN
1	1	1	3569	3380326	1	2	1,0017	0,041	3575	2	1	2	1
2	2	1381	1307994	1	6	5	1,0181	0,2445	1406	6	1	3	1
3	3	771	730241	1	1	0	1	0	771	1	1	1	1
4	4	400	378854	1	1	0	1	0	400	1	1	1	1
5	5	607	574911	1	1	0	1	0	607	1	1	1	1
TOTAL		6728							6759				
PENDIENTE PROMEDIO							1,00461						

La pendiente promedio de la cuenca es de 1,00461%

Para hallar la pendiente del cauce principal no ubicamos en el raster de la cuenca le hacemos unos cambios a las propiedades y hallamos la pendiente, nos ubicamos en la zona final del cauce y con la herramienta identify ubicamos la cota máxima que tiene por valor 2498m



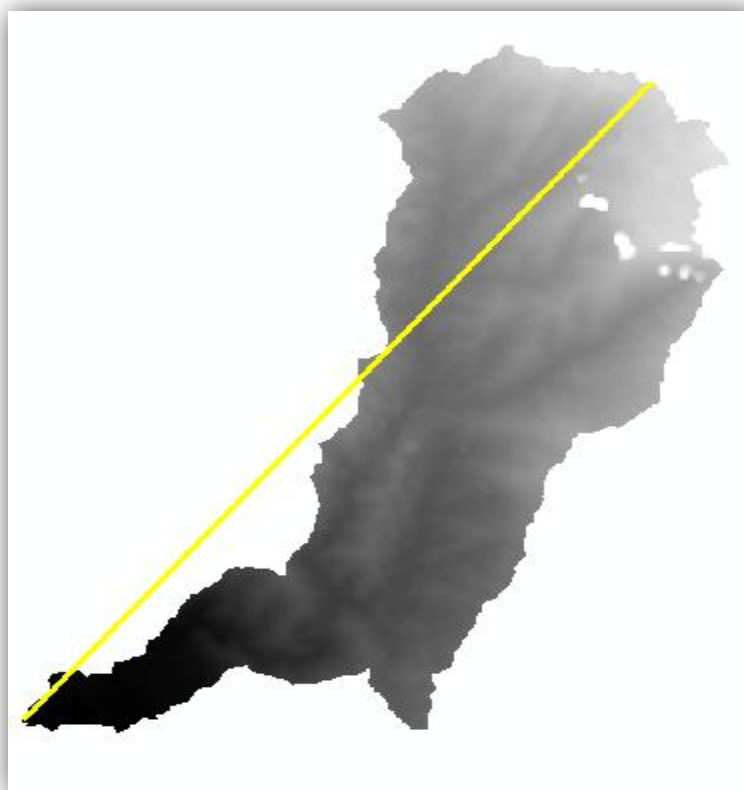
Y por ubicamos la parte más baja de la cuenca para saber cota mínima que tiene por valor 915 m



Y hallamos la pendiente la diferencia de cotas dividido en la longitud del cauce principal eso nos da un valor de 52,89%

Longitud de la cuenca (L)

Creamos un nuevo shapefile y le damos el nombre de *longitud* y trazamos la línea en nuestro caso una polilínea desde la cota más baja de la cuenca hasta el punto más alto de la cuenta medido en línea recta la línea quedaría de la siguiente forma:



Realizamos el mismo procedimiento del cálculo del área para hallar esa longitud y nos daría el siguiente resultado:

The screenshot shows a software window titled "Table" with a toolbar at the top. Below the toolbar is a table with the following data:

FID	Shape *	Id	distancia
0	Polyline	0	19,129121

At the bottom of the window, there are navigation icons and the text "(0 out of 1 Selected)".

Nos daría una longitud aproximada de 19,13 km

El índice de gravelius ( $I_c$ ) se halla con la siguiente ecuación:

$$Ic = 0,282 * \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Reemplazando datos y resolviendo la ecuación tenemos:

$$Ic = 0,282 * \left( \frac{56,66}{\sqrt{83,33}} \right) = 1,75$$

Rectángulo equivalente, se hace de la siguiente manera debido a que es una representación gráfica de la curva hipsométrica

Si L y l, son respectivamente los lados mayor y menor del rectángulo equivalente a P y A, el perímetro y el tamaño de la cuenca, en Km y Km<sup>2</sup>, entonces se tiene por las definiciones precedentes que:

$$\begin{aligned} \text{area, } A &= L * l \\ \text{perímetro, } P &= 2 * (L + l) \end{aligned}$$

El índice de gravelius  $Ic = 0,282 * \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right)$

Reemplazando la ecuación del área y del perímetro y despejando tenemos:

$$L = \frac{Ic\sqrt{A}}{1,128} * \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{Ic} \right)^2} \right)$$

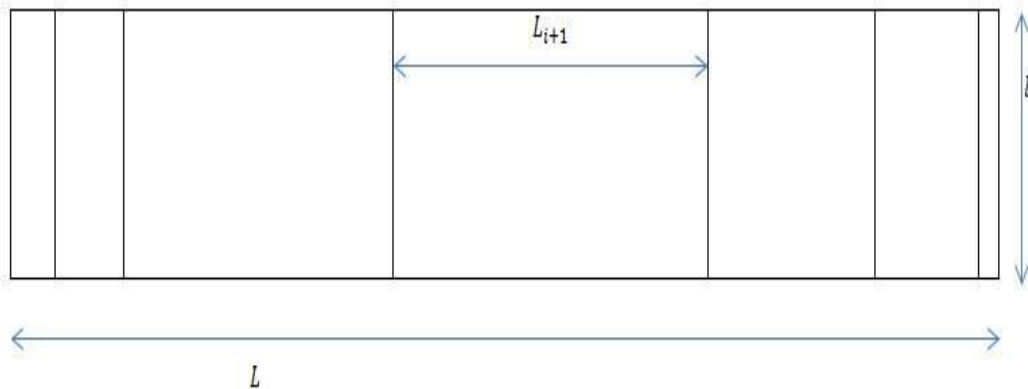
$$l = \frac{Ic\sqrt{A}}{1,128} * \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{Ic} \right)^2} \right)$$

Reemplazando valores en las nuevas ecuaciones tenemos:

$$L = \frac{1,75 * \sqrt{83,33}}{1,128} * \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{1,75} \right)^2} \right) = 24,99 \text{ km}$$

$$l = \frac{1,75 * \sqrt{83,33}}{1,128} * \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,128}{1,75} \right)^2} \right) = 3,33 \text{ km}$$

Áreas parciales (km <sup>2</sup> )	6,4547	6,7511	21,9612	25,0422	14,8084	7,7958	0,286	0,0985	0,0426	0,0312	0,0085	0,0018
$L_i = \frac{A_i}{l}$	1,9365	2,0254	6,5887	7,513	4,4427	2,3388	0,0858	0,0295	0,0127	0,0094	0,0025	0,00056



Este valor es adimensional

Hallamos el factor de forma (Ff) lo hallamos con la siguiente ecuación:

$$Ff = \frac{A}{Lc^2} = \frac{83,33}{19,13^2} = 0,22$$

Valor adimensional

El coeficiente de forma (Km):

$$Km = \frac{Bm}{L}$$

Hallamos primero el ancho medio (Bm):

$$Bm = \frac{A}{Lc} = \frac{83,33}{19,13} = 4,3559 \text{ m}$$

Ahora resolvemos la ecuación de coeficiente de forma:

$$Km = \frac{4,3559}{19,13} = 0,22$$

Valor adimensional

Calculamos la relación de elongación (Re):

$$Re = 1,1284 * \frac{\sqrt{A}}{Lc} = 1,1284 * \frac{\sqrt{83,33}}{19,13} = 0,8354$$

Valor adimensional

Relación de circularidad (Rci):

$$Rci = \frac{4 * \pi * A}{p^2} = \frac{4 * \pi * 83,33}{56,66^2} = 0,3261$$

Valor adimensional

Índice de pendiente (Ip):

$$Ip = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} * \frac{1}{\sqrt{L}} \quad ; \quad \beta_i = \frac{A_i}{A_T}$$

$$Ip1 = \sqrt{\beta_1} * \frac{1}{\sqrt{24,998}} \quad ; \quad \beta_1 = \frac{6,4547}{83,33}$$

$$Ip1 = 0,05568$$

$$Ip2 = 0,05694$$

$$Ip3 = 0,1027$$

$$Ip4 = 0,10967$$

$$Ip5 = 0,08433$$

$$Ip6 = 0,06119$$

$$Ip7 = 0,01172$$

$$Ip8 = 0,00687$$

$$Ip9 = 0,00472$$

$$Ip10 = 0,00387$$

$$Ip11 = 0,00202$$

$$Ip12 = 0,00095$$

$$Ip = \sum Ip1 + Ip2 + Ip3 + Ip4 + Ip5 + Ip6 + Ip7 + Ip8 + Ip9 + Ip10 + Ip11 + Ip12$$

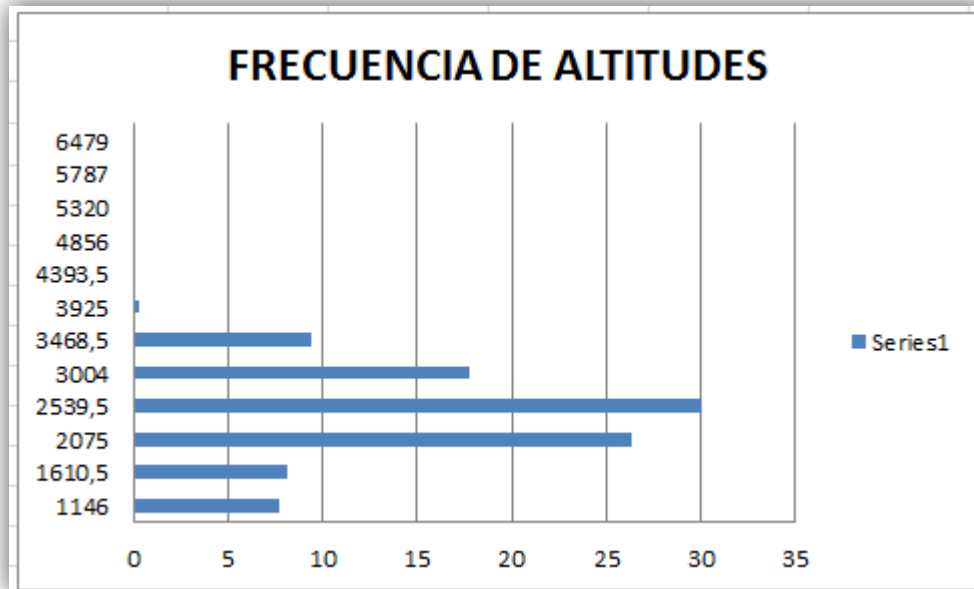
$$= 0,500507$$

Diagrama de frecuencia de altitudes:

Se obtienen los siguientes valores y se grafican de la siguiente tabla

Nro	DOTAS (msnm)			AREA (km2)			
	MIN	MAX	PROM	INTERVALOS	ACUMULADO	% ACUMULADO	% INTERPOLACION
1	914	1378	1146	6,454727	83,2825489	100	7,750395594
2	1379	1842	1610,5	6,75118	76,8278219	92,24960441	8,106356121
3	1843	2307	2075	21,96122	70,0766419	84,14324829	26,36953394
4	2308	2771	2539,5	25,04226	48,1154219	57,77371434	30,06903647
5	2772	3236	3004	14,80846	23,0731619	27,70467787	17,78098797
6	3237	3700	3468,5	7,79587	8,264701898	9,923689905	9,360748564
7	3701	4149	3925	0,2860348	0,468831898	0,562941341	0,343451064
8	4169	4618	4393,5	0,09850206	0,182797098	0,219490278	0,11827455
9	4635	5077	4856	0,04262109	0,084295038	0,101215728	0,051176496
10	5096	5544	5320	0,03125546	0,041673948	0,050039232	0,037529423
11	5579	5995	5787	0,008524217	0,010418488	0,012509809	0,010235298
12	6471	6487	6479	0,001894271	0,001894271	0,002274511	0,002274511

Se grafican estos valores y se obtiene lo siguiente:



Relación de relieve (Rr):

$$Rr = \frac{h}{L} = \frac{3565 - 914,47}{19,13} = 138,55$$

Valor adimensional

Tiempo de concentración debido a que este tiempo en sus unidades muestra inconsistencias ya que es una ecuación empírica existen diferentes ecuaciones estas son las siguientes: kirpich, temez, johnstone y cross, giandotti, scs-ranser, ventura-heras, v.t.chow, ecuación del cuerpo de ing del ejército de usa.

$$KIRPICH; Tc = 0,06628 * \left(\frac{L}{S^{0,5}}\right)^{0,77}$$

$$TEMEZ; Tc = 0,30 * \left(\frac{L}{S^{0,25}}\right)^{0,76}$$

$$JOHNSTONE Y CROSS; Tc = 2,6 * \left(\frac{L}{S^{0,5}}\right)^{0,5}$$

$$GIANDOTTI; Tc = \left(\frac{4 * A^{0,5} + 1,5 * L}{25,3(L * S)^{0,5}}\right)$$

$$SCS - RANSER; Tc = 0,947 * \left(\frac{L^3}{S}\right)^{0,385}$$

$$VENTURA - HERAS; T_c = 0,30 * \left( \frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,75}$$

$$V.T.CHOW ; T_c = 0,273 * \left( \frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,64}$$

$$CUERPO DE ING DEL EJERCITO USA ; T_c = 0,28 * \left( \frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76}$$

Para hallar la densidad de drenaje se usa la siguiente ecuación:

$$Dd = \frac{L_t}{A} = \frac{180,43}{83,33} = 2,1652 \text{ m}^{-1}$$

Constante de estabilidad del rio:

$$C = \frac{1}{Dd} = \frac{1}{2,1652} = 0,4618 \text{ m}$$

Densidad hidrográfica:

$$Dh = k * Dd^2; k = 0,7$$

$$Dh = 0,7 * 2,1652^2 = 3,182 \text{ m}$$

Sinuosidad del cauce principal:

$$Sc = \frac{Lc}{L} = \frac{29,946}{19,13} = 1,565$$

**ANEXO F.** Clasificación de las áreas de la cuenca

Tamaño de la cuenca (km <sup>2</sup> )	Descripción
< 25	Muy pequeña
25 a 250	pequeña
250 a 500	Intermedia-pequeña
500 a 2,500	Intermedia-grande
2,500 a 5,000	grande
>5,000	Muy grande

FUENTE: [17]

[17]Clasificación de Áreas de las cuencas. [Documento electrónico]. Disponible en internet: [http://irrigacion.chapingo.mx/planest/documentos/apuntes/hidrologia\\_sup/CUENCAS.pdf](http://irrigacion.chapingo.mx/planest/documentos/apuntes/hidrologia_sup/CUENCAS.pdf).

**ANEXO G.** Utilidad de curva hipsométrica

- **curva A:** Cuenca en fase juventud
- **curva B:** Cuenca en fase madurez
- **curva C:** Cuenca en fase de vejez

