



**IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL HIDROGRAMA UNITARIO
INSTANTÁNEO GEOMORFOLÓGICO EN LA CUENCA DEL RIO NEGRO
TRABAJO DE GRADO**

PRESENTADO POR:

GINA JULIANA RINCÓN RODRÍGUEZ CÓD. 1101043

ANDREA REY LONDOÑO CÓD. 1101042

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D. C 2013



**IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL HIDROGRAMA UNITARIO
INSTANTÁNEO GEOMORFOLÓGICO EN LA CUENCA DEL RIO NEGRO
TRABAJO DE GRADO**

PRESENTADO POR:

GINA JULIANA RINCÓN RODRÍGUEZ CÓD. 1101043

ANDREA REY LONDOÑO CÓD. 1101042

TUTOR:

MIGUEL ÁNGEL VANEGAS RAMOS

DOCENTE AUXILIAR HORA-CATEDRA

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ D. C 2013

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|------------|
| LISTA DE TABLAS | I |
| LISTA DE ILUSTRACIONES..... | III |
| LISTA DE PANTALLAZOS..... | IV |
| LISTA DE GRÁFICAS | VI |
| 1 TITULO | 1 |
| 2 ÁREA(S)..... | 1 |
| 3 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN | 1 |
| 4 ANTECEDENTES..... | 1 |
| 5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 2 |
| 5.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA | 2 |
| 5.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 6 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN | 3 |
| 7 OBJETIVOS..... | 4 |
| 7.1 OBJETIVO GENERAL: | 4 |
| 7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:..... | 4 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 8 | JUSTIFICACIÓN | 5 |
| 9 | ALCANCE O DELIMITACIÓN DE LA OPCIÓN DE GRADO | 5 |
| 10 | MARCO CONCEPTUAL | 7 |
| 10.1 | MARCO TEÓRICO | 7 |
| 10.1.1 | ASPECTOS GENERALES DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA | 7 |
| 10.1.2 | CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE UNA CUENCA | 8 |
| 10.1.3 | HIDROGRAMAS | 23 |
| 10.2 | MARCO GEOGRÁFICO | 26 |
| 10.3 | MARCO LEGAL | 32 |
| 10.4 | MARCO DEMOGRÁFICO | 37 |
| 10.4.1 | AMBIENTAL | 38 |
| 10.4.2 | SOCIAL | 40 |
| 10.4.3 | CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA | 42 |
| 11 | METODOLOGÍA | 43 |
| 12 | RESULTADOS | 44 |
| 12.1 | RED DE DRENAJE A PARTIR DE SIG | 44 |
| 12.1.1 | ENSAYO #1 | 45 |
| 12.1.2 | ENSAYO #2 | 46 |
| 12.1.3 | ENSAYO # 3 | 47 |
| 12.1.4 | ENSAYO #4 | 48 |
| 12.1.5 | ENSAYO # 5 | 49 |
| 12.1.6 | ENSAYO # 6 | 50 |
| 12.1.7 | ENSAYO # 7 | 51 |
| 12.2 | DELIMITACIÓN PRECISA DE LA CUENCA DEL RÍO NEGRO | 52 |

| | | |
|-------------|---|------------|
| 12.3 | NÚMEROS DE HORTON EN LA CUENCA DEL RÍO NEGRO | 57 |
| 12.3.1 | LEY DE LONGITUD DE CORRIENTES <i>RL</i> , ÁREA DE LAS CORRIENTES <i>RA</i> y NÚMERO DE LAS CORRIENTES <i>RB</i> | 59 |
| 12.4 | HIDROGRAMA UNITARIO | 72 |
| 13 | PRODUCTOS..... | 86 |
| 13.1.1 | DIAGRAMA DE FLUJO | 86 |
| 13.1.2 | TUTORIAL..... | 89 |
| 14 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 126 |
| 15 | BIBLIOGRAFÍA | 129 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| TABLA 1. Área de la Cuenca..... | 8 |
| TABLA 2. Resumen de índices y coeficientes de forma para clasificación de cuencas | 10 |
| TABLA 3. Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente media. | 13 |
| TABLA 4. Provincias de la cuenca de Río Negro con sus diferentes características..... | 28 |
| TABLA 5. Subcuencas de la cuenca de Río Negro | 30 |
| TABLA 6. Estaciones que se encuentran en la cuenca de Río Negro | 31 |
| TABLA 7. Parámetros básicos de la cuenca del Río Negro | 54 |
| TABLA 8. Área entre curvas de nivel | 55 |
| TABLA 9. Curva Hipsométrica | 56 |
| TABLA 10. Parámetros para calcular Horton. Cuenca Río Negro (Número de Celdas=500) | 58 |
| TABLA 11. Parámetros para calcular Horton. Cuenca Río Negro (Número de Celdas=1000) | 58 |
| TABLA 12. Parámetros para calcular Horton. Cuenca Río Negro (Número de Celdas=2000) | 58 |
| TABLA 13. Parámetros para calcular Horton. Cuenca Río Negro (Número de Celdas=5000) | 58 |
| TABLA 14. Parámetros para calcular Horton. Cuenca Río Negro (Número de Celdas=10000) | 59 |
| TABLA 15. Parámetros para calcular Horton. Cuenca hasta Colorados (Número de Celdas=500) | 59 |
| TABLA 16. Valores de RL , RA y RB establecidos para cada número de celdas..... | 69 |
| TABLA 17. Valores de RL , RA y RB establecidos para la cuenca con el punto de drenaje en la estación Colorados | 70 |
| TABLA 18. Datos para evento con fecha 24-03-2006 | 73 |
| TABLA 19. Datos para evento con fecha 25-03-2006 | 74 |
| TABLA 20. Datos para evento con fecha 04-04-2006 | 75 |

| | |
|--|----|
| TABLA 21. Datos para evento con fecha 19-04-2006 | 76 |
| TABLA 22. Datos para evento con fecha 27-04-2006 | 77 |
| TABLA 23. Datos para evento con fecha 08-06-2006 | 78 |
| TABLA 24. Datos para evento con fecha 14-04-2010 | 79 |
| TABLA 25. Datos para evento con fecha 16-04-2010 | 80 |
| TABLA 26. Datos para evento con fecha 05-05-2010 | 81 |
| TABLA 27. Datos para evento con fecha 20-05-2010 | 82 |

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|-----|
| ILUSTRACIÓN 1. Patrón de alineamiento de los ríos..... | 17 |
| ILUSTRACIÓN 2. Identificación de los tipos de red de drenaje | 18 |
| ILUSTRACIÓN 3. Separación de los componentes de un hidrograma..... | 25 |
| ILUSTRACIÓN 4. Análisis del hidrograma..... | 25 |
| ILUSTRACIÓN 5. Zonas Hidrológicas..... | 27 |
| ILUSTRACIÓN 6. SZH 2306 con las líneas de drenaje que arrojo ArcGIS-Archydro para número de celdas 500 delimitada hasta la estación Colorados | 51 |
| ILUSTRACIÓN 7. Zoom de la SZH 2306. Líneas azules: cartografía. Líneas rojas: modelo ArcGIS | 52 |
| ILUSTRACIÓN 8. Delimitación de la figura irregular de la cuenca del Río Negro delimitada desde la estación Puerto Libre y Colorados | 53 |
| ILUSTRACIÓN 9. DEM de la Cuenca del Río Negro (Fil)..... | 55 |
| ILUSTRACIÓN 10. Curva Hipsométrica..... | 57 |
| ILUSTRACIÓN 11. Diagrama de flujo para trabajar en ArcGIS V. 10.0..... | 86 |
| ILUSTRACIÓN 12. Superficies de agua..... | 98 |
| ILUSTRACIÓN 13. Level DEM | 101 |
| ILUSTRACIÓN 14. AgreeDEM | 102 |
| ILUSTRACIÓN 15. Fil..... | 104 |
| ILUSTRACIÓN 16. SZH 2306 una vez insertada las estaciones | 108 |
| ILUSTRACIÓN 17. Selección de la estación Puerto Libre..... | 109 |
| ILUSTRACIÓN 18. Selección del punto en la estación Puerto Libre..... | 113 |
| ILUSTRACIÓN 19. Delimitación de la cuenca desde el punto de la estación Puerto Libre | 116 |
| ILUSTRACIÓN 20. Conversión de Raster a Polígono | 118 |
| ILUSTRACIÓN 21. Extracción del Fil | 120 |

LISTA DE PANTALLAZOS

| | |
|---|----|
| PANTALLAZO 1. SHZ 2306 con los límites de los departamentos..... | 32 |
| PANTALLAZO 2. SZH 2306 con construcciones de obras civiles | 41 |
| PANTALLAZO 3. SZH 2306 con vías existentes tanto férreas como terrestres. | 42 |
| PANTALLAZO 4. SZH 2306 con las líneas de drenaje que arrojo ArcGIS-Archydro para número de celdas 10000..... | 45 |
| PANTALLAZO 5. Zoom de la SZH 2306. Líneas azules: cartografía. Líneas rojas: modelo ArcGIS | 45 |
| PANTALLAZO 6. SZH 2306 con las líneas de drenaje que arrojo ArcGIS-Archydro para un número de celdas 5000..... | 46 |
| PANTALLAZO 7. ZOOM DE LA SZH 2306. Líneas azules: cartografía. Líneas rojas: modelo ArcGIS | 46 |
| PANTALLAZO 8. SZH 2306 con las líneas de drenaje que arrojo ArcGIS-Archydro para número de celdas 2000..... | 47 |
| PANTALLAZO 9. Zoom de la SZH 2306. Líneas azules: cartografía. Líneas rojas: modelo ArcGIS | 47 |
| PANTALLAZO 10. SZH 2306 con las líneas de drenaje que arrojo ArcGIS-Archydro para un número de celdas 1000..... | 48 |
| PANTALLAZO 11. Zoom de la SZH 2306. Líneas azules: cartografía. Líneas rojas: modelo ArcGIS. | 48 |
| PANTALLAZO 12. SZH 2306 con las líneas de drenaje que arrojo ArcGIS-Archydro para un número de celdas 500..... | 49 |
| PANTALLAZO 13. Zoom de la SZH 2306. Líneas azules: cartografía. Líneas rojas: modelo ArcGIS | 49 |
| PANTALLAZO 14. SZH 2306 con las líneas de drenaje que arrojo ArcGIS-Archydro para un número de celdas 200..... | 50 |

| | |
|---|----|
| PANTALLAZO 15. Zoom de la SZH 2306. Líneas azules: cartografía. Líneas rojas: modelo ArcGIS | 50 |
| PANTALLAZO 16. Crear un nuevo proyecto en ArcGIS | 89 |
| PANTALLAZO 17. Insertar DEM_30 en el proyecto de ArcGIS | 90 |
| PANTALLAZO 18. Vista general del mapa de Colombia una vez ya insertado DEM_30 | 91 |
| PANTALLAZO 19. Vista general del mapa de Colombia una vez ya insertado SZH..... | 92 |
| PANTALLAZO 20. SZH y DEM 30 ya insertados en el proyecto de ArcGIS | 93 |
| PANTALLAZO 21. Definición de la subzona 2306 | 94 |
| PANTALLAZO 22. Subzona 2306 definida | 97 |
| PANTALLAZO 23. Eliminación de archivos temporales | 99 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | |
|--|----|
| GRÁFICA 1. RB para número de celdas 500 | 60 |
| GRÁFICA 2. RA para número de celdas 500..... | 60 |
| GRÁFICA 3. RL para número de celdas 500 | 60 |
| GRÁFICA 4. RB para número de celdas 1000..... | 61 |
| GRÁFICA 5. RA para número de celdas 1000..... | 61 |
| GRÁFICA 6. RL para número de celdas 1000 | 61 |
| GRÁFICA 7. RB para número de celdas 2000..... | 62 |
| GRÁFICA 8. RA para número de celdas 2000..... | 62 |
| GRÁFICA 9. RL para número de celdas 2000 | 62 |
| GRÁFICA 10. RB para número de celdas 5000..... | 63 |
| GRÁFICA 11. RA para número de celdas 5000..... | 63 |
| GRÁFICA 12. RL para número de celdas 5000 | 63 |
| GRÁFICA 13. RB para número de celdas 10000..... | 64 |
| GRÁFICA 14. RA para número de celdas 10000..... | 64 |
| GRÁFICA 15. RL para número de celdas 10000 | 64 |
| GRÁFICA 16. RB para número de celdas 500 – Punto de drenaje estación Colorados..... | 65 |
| GRÁFICA 17. RA para número de celdas 500 – Punto de drenaje estación Colorados | 65 |
| GRÁFICA 18. RL para número de celdas 500 – Punto de drenaje estación Colorados..... | 65 |
| GRÁFICA 19. Números de Horton para 500 celdas | 66 |
| GRÁFICA 20. Números de Horton para 1000 celdas..... | 67 |
| GRÁFICA 21. Números de Horton para 2000 celdas..... | 67 |
| GRÁFICA 22. Números de Horton para 5000 celdas..... | 68 |
| GRÁFICA 23. Números de Horton para 10000 celdas..... | 68 |
| GRÁFICA 24. Números de Horton para 500 celdas – Punto de drenaje estación Colorados | |
| 69 | |
| GRÁFICA 25. Valores obtenidos de RB para los diferentes números de celdas | 70 |

| | |
|---|----|
| GRÁFICA 26. Valores obtenidos de RB para los diferentes números de celdas | 71 |
| GRÁFICA 27. Valores obtenidos de RB para los diferentes números de celdas | 71 |
| GRAFICA 28. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 24-03-2006 | 73 |
| GRAFICA 29. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 25-03-2006 | 74 |
| GRAFICA 30. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 05-04-2006 | 75 |
| GRAFICA 31. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 20-04-2006 | 76 |
| GRAFICA 32. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 27-04-2006 | 77 |
| GRAFICA 33. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 08-06-2006 | 78 |
| GRAFICA 34. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 14-04-2010 | 79 |
| GRAFICA 35. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 16-04-2010 | 80 |
| GRAFICA 36. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 05-05-2010 | 81 |
| GRAFICA 37. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 20-05-2010 | 82 |
| GRAFICA 38. Tabla resumen de Qp y Tp | 83 |
| GRAFICA 39. Relación caudal calculado vs. caudal observado | 84 |
| GRAFICA 40. Relación tiempo calculado vs. tiempo observado | 85 |



1 TITULO

IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL HIDROGRAMA UNITARIO INSTANTÁNEO GEOMORFOLÓGICO EN LA CUENCA DEL RIO NEGRO

2 ÁREA(S)

Área de Hidráulica

Asignaturas: Hidrología, SIG. Sensores Remotos, Hidroinformática.

3 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Procesos Hidrológicos.

Visión Colombia Hídrica

4 ANTECEDENTES

El Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico es una metodología que indirectamente se ha venido planteando desde que las leyes de Horton (1954) fueron planteadas ya que ellas son la base para realizar dicha metodología. Adicionalmente muchos autores se han preguntado ¿Qué otra cosa se puede lograr teniendo la caracterización morfométrica de una cuenca?

La morfometría es la descripción de una forma y estructura de manera cualitativa y cuantitativa, por ello es que las leyes de Horton que definen toda la estructura de una red de drenaje son esenciales al momento de realizar un procedimiento como el Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico.

Para ello uno de los científicos más reconocidos en el ámbito Hidrológico a nivel mundial Ignacio Rodríguez Iturbe después de una larga investigación junto con Juan N Valdés logran dar a conocer un paper titulado “ The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response” en



Diciembre de 1979 en el cual establecen una metodología para calcular matemáticamente el Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico, de allí que este paper sea la base principal sobre a cual se fundamenta el proyecto de grado.

5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

5.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

En Colombia existen actualmente muchas cuencas hidrográficas que no cuentan con la instrumentación adecuada para predecir las precipitaciones y a su vez las crecientes en un momento determinado lo cual ha traído grandes tragedias al país debidas a inundaciones súbitas que se hubieran podido evitar si se tuvieran los equipos adecuados para poder tomar las medidas de seguridad correspondientes.

En general, estos problemas con la instrumentación no solo se deben a un descuido en zonas vulnerables del país, sino a las gestiones por parte del Gobierno, quienes tratan se solucionar muchos problemas de sus comunidades dejando atrás presupuesto para evitar estas problemáticas por las que se han visto afectadas miles de personas en Colombia.

En las cuencas hidrográficas donde actualmente se tienen los equipos necesarios y el personal idóneo para llevar a cabo el monitoreo de la red de drenaje los daños son mínimos ante un incremento de lluvias, por ello una de las temáticas más importantes en el país sería poder predecir estas condiciones de las cuencas hidrográficas teniendo únicamente como base la caracterización morfométrica de las mismas que se puede lograr con un amplio estudio cartográfico e implementando la Metodología del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico.



5.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles y de qué tipo son los daños que ocurren después de una inundación?

¿Cuáles son las principales ventajas de predecir dichas inundaciones sin necesidad de tener una cuenca hidrográfica instrumentada?

¿Qué se está haciendo actualmente con las cuencas hidrográficas no instrumentadas, donde se han presentado inundaciones con grandes damnificados?

¿Cuál es la eficiencia de las cuencas instrumentadas actualmente respecto a la mitigación de los daños en una inundación?

6 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la eficiencia de implementar la metodología del hidrograma unitario instantáneo geomorfológico en la cuenca del Río Negro correspondiente a la subzona hidrográfica 2306 que permite predecir posibles crecientes e inundaciones en zonas no instrumentadas?



7 OBJETIVOS

7.1 OBJETIVO GENERAL:

Implementar la metodología del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico en la cuenca del Río Negro correspondiente a la subzona 2306 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), mediante la caracterización morfométrica de la cuenca y la aplicación de las ecuaciones desarrolladas por *Rodríguez-Iturbe et al. [1979]* con el fin de estimar las crecientes presentadas en la cuenca.

7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Obtener los parámetros morfométricos de la cuenca del Río Negro, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica con el fin de determinar las leyes de Horton de la misma.
- Implementar la metodología del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico en la cuenca del Río Negro, a partir de la aplicación de las ecuaciones propuestas por *Rodríguez-Iturbe et al. [1979]* para estimar las crecientes en la misma.
- Validar los resultados de las crecientes obtenidas en la implementación de la metodología del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico en la cuenca del Río Negro, mediante la comparación de los datos registrados en cinco estaciones del IDEAM ubicadas sobre la cuenca (23067020-Colorados, 23067040-Puerto Libre,



23067050-Guaduro, 23067060- Tobia, 23067080-Charco Largo) con el fin de determinar el nivel de desempeño de la metodología.

- Exponer el uso de la metodología del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico como herramienta alternativa para la estimación de crecientes en una cuenca.

8 JUSTIFICACIÓN

El impacto social y económico a causa una inundación es la principal razón por la cual se hace este trabajo, pues si se tienen las herramientas necesarias para poder estimar una creciente en una cuenca, no solo se mitigaran los daños, sino que es posible optar por medidas preventivas dependiendo la magnitud de las mismas. Por ello es de vital importancia para el Ingeniero Civil el conocimiento de herramientas alternativas que permitan estimar dichas crecientes. En este trabajo se implementara la metodología del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica, las cuales facilitan en gran medida la caracterización morfométrica de la cuenca para estimar las crecientes antes mencionadas.

9 ALCANCE O DELIMITACIÓN DE LA OPCIÓN DE GRADO

El alcance de este trabajo se enmarca en la implementación de la metodología del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico en la cuenca del Río Negro correspondiente a la subzona 2306 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), mediante la caracterización morfométrica de la cuenca y la aplicación de las ecuaciones desarrolladas por *Rodríguez-Iturbe et al. [1979]* con el fin de estimar las crecientes presentadas en la cuenca.



Este trabajo presenta una herramienta alternativa para la estimación de crecientes en una cuenca y el aporte esperado es el nivel de desempeño de la metodología, mediante la evaluación de los resultados en comparación con los datos registrados por cinco estaciones pertenecientes a la cuenca en estudio.



10 MARCO CONCEPTUAL

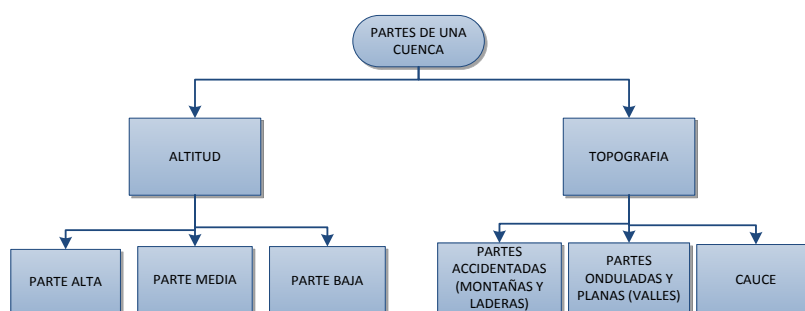
10.1 MARCO TEÓRICO

10.1.1 ASPECTOS GENERALES DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA

Una cuenca hidrográfica es un área donde existen aguas superficiales o subterráneas, estas son drenadas por un sistema de corrientes las cuales son conducidas hacia un punto de salida. Existen dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas, las primeras su punto de salida se localiza dentro de la cuenca, mientras que en la segunda este se encuentra dentro de los límites de la cuenca. Estas aguas son conducidas a un río principal, lagos, pantanos o directamente en el mar¹.

“También es el sistema de análisis ideal de los recursos hídricos, debido a que permite realizar un balance superficial entre el agua que entra al sistema (precipitación) y el agua que sale del mismo (escorrentía)”².

Figura 1. Partes de una cuenca



Fuente: Compilado por las autoras

¹ Mijares, F. J. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México, D.F.: Limusa S.A.

² Reyes Trujillo Aldemar, U. B. (2011). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Cali - Colombia: Universidad del Valle, P.19.



10.1.2 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE UNA CUENCA

Cada cuenca tiene una forma determinada que guarda relación con su comportamiento hidrológico³.

10.1.2.1 LA SUPERFICIE O ÁREA:

El área es un dato de gran importancia al realizar el análisis hidrológico de la cuenca, este corresponde a la delimitación de esta misma la cual se basa en una esorrentía que va dirigida a un mismo cauce natural⁴. Dependiendo su tamaño se les puede llamar a las cuencas:

TABLA 1. Área de la Cuenca

| ÁREA (km ²) | NOMBRE |
|----------------------------|-------------|
| <5 | Unidad |
| 5 – 20 | Sector |
| 20 – 100 | Microcuenca |
| 100 – 300 | Subcuenca |
| >300 | Cuenca |

Fuente:(Reyes Trujillo Aldemar, 2011)

³ Ibídem

⁴ Medina, G. A. (1998). *Hidrología Básica*. Santafé de Bogotá: Unidad de publicaciones de la facultad de ingeniería Universidad Nacional de Colombia.



10.1.2.2 EL PERÍMETRO:

Es de gran importancia determinar el perímetro de la cuenca, debido a que este es esencial para establecer la forma de la cuenca, se puede obtener con la ayuda de un curvímetro o también a través de sistemas CAD⁵.

10.1.2.3 FORMA DE LA CUENCA

Una de las características más importantes al determinar la forma de la cuenca se basa en la relación que existe con el tiempo de concentración, determinando de esta forma el tiempo requerido para que el agua se desplace desde los límites de la cuenca hasta su desembocadura o salida⁶.

Representar la forma que tiene la cuenca puede deducir aspectos hidrológicos como las facilidades de drenaje de la cuenca, permite analizar posibles procesos geomorfológicos como avalanchas debido a la presencia de precipitaciones extremas, de igual manera el analizar este aspecto infiere en las características de los hidrogramas que son consecuencia de creciente⁷.

⁵ Reyes Trujillo Aldemar, U. B. (2011). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Cali - Colombia: Universidad del Valle.

⁶ Sáenz, G. M. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería.

⁷ Reyes Trujillo Aldemar, U. B. (2011). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Cali - Colombia: Universidad del Valle.



TABLA 2. Resumen de índices y coeficientes de forma para clasificación de cuencas

| PARÁMETRO | ECUACIÓN | INTERPRETACIÓN |
|-------------------------------------|---|---|
| <i>Índice de compacidad</i> K_C | $K_C = 0,28 \times \left[\frac{P}{\sqrt{A}} \right]$ | <p>K_C 1,00 – 1,25: Cuenca redonda a oval redonda.</p> <p>K_C 1,25 – 1,50: Cuenca de oval redonda a oval oblonga.</p> <p>K_C 1,50 – 1,75: Cuenca de oval oblonga a oval a rectangular oblonga.</p> |
| <i>Factor de forma</i> F | $F = \frac{A}{L_m^2}$ | <p>$F > 1$: Cuenca achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas</p> <p>$F < 1$: Cuenca alargada, baja susceptibilidad a las avenidas</p> |
| <i>Índice de alargamiento</i> l_a | $l_a = \frac{L_m}{l}$ | <p>$l_a > 1$: Cuenca alargada</p> <p>$l_a \approx 1$: Cuenca achatada, y por lo tanto el cauce principal es corto.</p> |
| <i>Índice asimétrico</i> I_{as} | $I_{as} = \frac{A_{may}}{A_{men}}$ | <p>$I_{as} > 1$: Cauce principal bastante recargado a una de las vertientes</p> <p>$I_{as} \approx 1$: Distribucion uniforme del cauce principal.</p> |

Fuente: (Reyes Trujillo Aldemar, 2011)

Significado de términos:

K_C : Índice de la compacidad o índice de Gravelius (Adimensional)

P : Perímetro de la cuenca (km)

A : Área de la cuenca (km²)

F : Factor de forma (Adimensional)



L_m : Longitud de máximo recorrido (km)

l_a : Índice de alargamiento (Adimensional)

l : Ancho máximo (km)

I_{as} : Índice asimétrico (Adimensional)

A_{may} : Vertiente mayor (km²)

A_{men} : Vertiente menor (km²)

10.1.2.4 CONCEPTOS:

Los términos y ecuaciones anteriormente mencionadas, se asocian a los conceptos que aparecen a continuación para mayor claridad en los futuros avances de la realización del proyecto.

10.1.2.4.1 ÍNDICE DE COMPACIDAD O ÍNDICE DE GRAVELIUS:

Es la relación que existe entre el perímetro de la cuenca y la longitud de un círculo semejante a la cuenca; entre mayor es el índice de compacidad la forma de la cuenca será relativamente diferente al círculo⁸.

Por lo tanto se podría decir que en cuencas irregulares el coeficiente de compacidad es mayor que 1, mientras más se acerque este número a la unidad abra mayor tendencia a las crecientes⁹.

⁸ Medina, G. A. (1998). *Hidrología Básica*. Santafé de Bogotá: Unidad de publicaciones de la facultad de ingeniería Universidad Nacional de Colombia.

⁹ Sáenz, G. M. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería.



10.1.2.4.2 FACTOR DE FORMA (F)

Este parámetro se encuentra en función del ancho medio y la longitud axial de la hoya. Se relaciona básicamente con la forma de la cuenca lo cual permitirá deducir si la cuenca se encuentre sujeta a crecientes¹⁰.

Si el valor del factor de forma es mayor a 1 (uno) dará el grado de achatamiento y como resultado se podrá deducir la tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas¹¹.

10.1.2.4.3 ÍNDICE DE ALARGAMIENTO

Es un parámetro que determina la tendencia de la cuenca a ser de forma alargada, está en función de la longitud axial y el ancho máximo de la cuenca. Cuando el valor de este índice es mayor a uno presenta una forma más alargada, atribuyendo predicciones a la dinámica del movimiento del agua en los drenajes y su potencia erosiva o de arrastre¹².

10.1.2.4.4 ÍNDICE ASIMÉTRICO

Valora la homogeneidad en la red de drenaje localizando el río principal, ya que si esta se encuentra recargada sobre una vertiente implicara una heterogeneidad en la red de drenaje aumentando la descarga hídrica de la cuenca a esta vertiente, por lo tanto se desarrolla niveles de erodabilidad. Relaciona el área de las vertientes, Mayor y Menor¹³.

¹⁰ Sáenz, G. M. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería.

¹¹ Reyes Trujillo Aldemar, U. B. (2011). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Cali - Colombia: Universidad del Valle.

¹² Ibídem

¹³ Ibídem



10.1.2.5 PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA

La pendiente es uno de los factores que atribuyen a controlar la velocidad con que se da la escorrentía superficial, dando el tiempo que tarda la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales¹⁴. Define las características del suelo y sus posibles comportamientos ante diferentes efectos, dado que en zonas de altas pendientes se presentaran problemas de erosión; mientras que en regiones planas habrá problemas de drenaje y sedimentación¹⁵.

TABLA 3. Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente media.

| PENDIENTE MEDIA (%) | TIPO DE RELIEVE | SÍMBOLO |
|---------------------|-----------------------------|----------------|
| 0-3 | Plano | P ₁ |
| 3-7 | Suave | P ₂ |
| 7-12 | Medianamente Accidentado | P ₃ |
| 12-20 | Accidentado | P ₄ |
| 20-35 | Fuertemente Accidentado | P ₅ |
| 35-50 | Muy Fuertemente Accidentado | P ₆ |
| 50-75 | Escarpado | P ₇ |
| >75 | Muy Escarpado | P ₈ |

Fuente: (Reyes Trujillo Aldemar, 2011)

La pendiente media de la cuenca se puede calcular de mediante dos métodos que se encuentran en el libro guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas (Reyes Trujillo Aldemar, 2011)

10.1.2.5.1 MÉTODO DE ALVORD

Propone la siguiente ecuación para determinar la pendiente media de la cuenca:

$$S_m = \frac{D * L_c}{A}$$

¹⁴ Sáenz, G. M. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería.

¹⁵ Reyes Trujillo Aldemar, U. B. (2011). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Cali - Colombia: Universidad del Valle.



Donde:

S_m : Pendiente media de la cuenca.

D : Diferencia de nivel entre las curvas de nivel del plano topográfico empleado (km).

A : Área total de la cuenca (km²).

L_c : Longitud de la curva de nivel (km).

Siendo L_c la sumatoria de las longitudes de todas las curvas que se encuentran dentro de la cuenca.

10.1.2.5.2 MÉTODO DE HORTON

“La aplicación del método se inicia con el trazado de una cuadrícula sobre la proyección planimétrica de la cuenca, en el sentido del cauce principal. Si la cuenca tiene una superficie inferior a los 250 km el trazado llevara al menos cuatro (4) cuadros por lado de igual dimensión. Para cuencas de superficie mayor deberá aumentarse el número de cuadros por lado. Después de trazada la cuadrícula se mide las longitudes de las líneas dentro de la cuenca y se cuantifican las intersecciones y tangencias de cada línea con las curvas de nivel. Se debe verificar que el plano topográfico contenga las curvas de nivel con igual desnivel entre ellas”. Horton propone la siguiente expresión:

$$S_m = \frac{N * D * \text{Sec}\theta}{L}$$

$$N = N_x + N_y$$

$$L = L_x + L_y$$

Dónde:

S_m : Pendiente de la cuenca.

D : Diferencia de nivel entre las curvas de nivel dl plano topográfico empleado (km)



L_x : Longitud total de las líneas de la cuadrícula en la dirección X dentro de la cuenca (km o m)

L_y : Longitud total de las líneas de la cuadrícula en la dirección Y dentro de la cuenca (km o m)

N_x : Número total de intersecciones y tangencias de la cuadrícula en la dirección X con curvas de nivel.

N_y : Número total de intersecciones y tangencias de la cuadrícula en la dirección Y con curvas de nivel.

θ : Angulo entre las líneas de la cuadrícula y las curvas de nivel.

Debido a la laboriosidad requerida para estimar el término $Sec\theta$ de cada intersección, Horton sugiere utilizar un valor de 1,57.

10.1.2.6 ELEVACIÓN DE LA CUENCA

Es una variación altitudinal que influye en características meteorológicas dando bases para la determinación de zonas climatológicas y ecológicas. A través de la curva hipsométrica se puede relacionar la propiedad altimétrica de la cuenca y su elevación¹⁶.

CURVA HIPSOMÉTRICA

La curva hipsométrica refleja la variación de elevación en la cuenca con respecto al nivel medio del mar. De igual manera sirve para definir características fisiográficas de la cuenca. Para la construcción de la curva es necesario tener en cuenta la variación de la elevación y el porcentaje de área de drenaje que existe por encima y debajo de varias elevaciones, esto se puede obtener mediante el cálculo con planímetro o sistema CAD para determinar las áreas entre curvas de nivel¹⁷. A través de la curva se logra la representación de zonas altas, medias y bajas en la

¹⁶ Ibidem

¹⁷ Sáenz, G. M. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería.



cuenca, sectorizando zonas de diferente pluviosidad utilizando diferentes registros pluviométricos¹⁸.

La elevación media de la cuenca es aquella que establece la cota de la curva de nivel que divide la cuenca en dos zonas de igual área¹⁹. Se debe tener en cuenta que estos datos son importantes ya que tienen gran influencia en la precipitación y en las pérdidas de agua ocasionada por la evaporación y transpiración²⁰.

10.1.2.7 CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE DRENAJE

Las redes de drenaje se clasifican así:

Según la constancia en la escorrentía los recursos del agua se dividen en (Sáenz, 1995):

- *Cauces perennes*: Conservan agua todo el tiempo y el nivel de agua subterráneo no desciende debajo del cauce del río.
- *Cauces intermitentes*: Llevan agua en estaciones de lluvia y se seca en época de verano. El nivel de agua subterráneo permanece por encima del nivel del cauce del río.
- *Cauces efímeros*: Existen durante o inmediatamente después de la precipitación, por ello transporta solo escurrimiento superficial.

Según su forma (Reyes Trujillo Aldemar, 2011)

- *Cauces semirectos*: es un cauce relativamente recto debido a las condiciones topográficas (Pendientes altas)

¹⁸ Medina, G. A. (1998). *Hidrología Básica*. Santafé de Bogotá: Unidad de publicaciones de la facultad de ingeniería Universidad Nacional de Colombia.

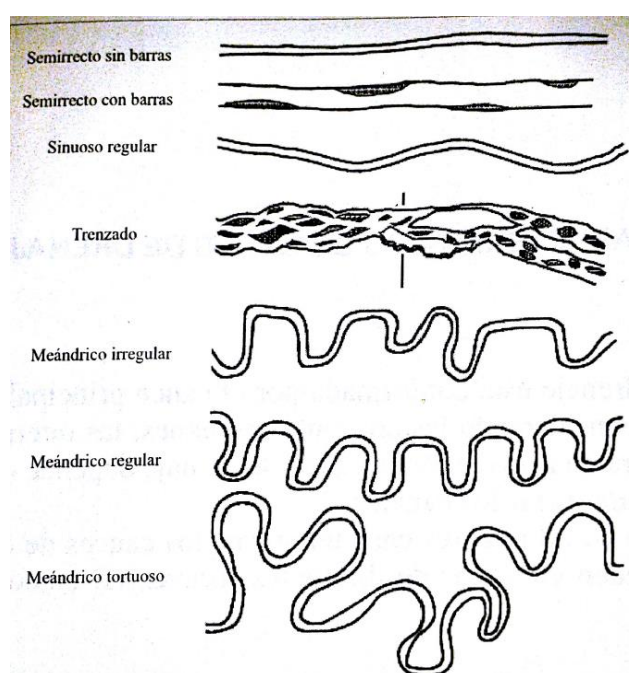
¹⁹ Reyes Trujillo Aldemar, U. B. (2011). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Cali - Colombia: Universidad del Valle.

²⁰ Sáenz, G. M. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería.



- *Cauces trenzados*: se dan debido a la sedimentación de materiales producidos por las pendientes fuertes a moderadas, causando que el material sedimentado forme series de brazos.
- *Cauces meándricos*: Presenta pendientes bajas, lo cual provoca una forma curvilínea con áreas de erosión y depósito.

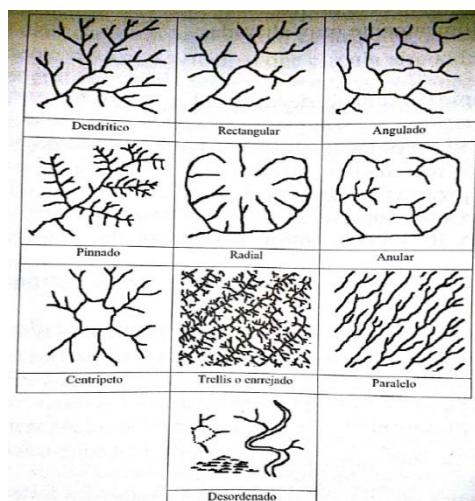
ILUSTRACIÓN 1. Patrón de alineamiento de los ríos



Fuente: (Reyes Trujillo Aldemar, 2011)



ILUSTRACIÓN 2. Identificación de los tipos de red de drenaje



Fuente: (Reyes Trujillo Aldemar, 2011)

El tipo de red de drenaje más común es el Dendrítico, por ello se explica a continuación:

Dendrítico: muestra una ramificación arbórea en la que los tributarios se unen a la corriente principal formando ángulos agudos. Se caracteriza por los siguientes²¹:

- Litología con baja permeabilidad
- Mediana pluviosidad
- Poco caudal
- Baja cobertura vegetal
- Zonas de inicio de ladera
- Pendientes moderadas
- Laderas bajas
- Rocas con resistencia uniforme

²¹ Reyes Trujillo Aldemar, U. B. (2011). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Cali - Colombia: Universidad del Valle.



- Zona litológicamente muy alterada

10.1.2.8 CARACTERIZACIÓN DEL RIO PRINCIPAL

Para identificar el río principal de una cuenca hidrográfica es necesario tener las longitudes de estas previamente calculadas, ya que la corriente de mayor longitud será identificada como el cauce principal, se caracteriza por su sinuosidad y pendiente media²².

A continuación se mencionara cada uno de los aspectos del río principal de la cuenca hidrográfica que se encuentran en la guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas de Reyes Trujillo Aldemar, U. B. (2011):

Longitud total de la red

Se calcula sumando todas las corrientes, incluyendo aquellas que solo llevan agua durante las lluvias²³.

Numero de Orden

El número de orden es una clasificación la cual da un determinado valor a cada una de los cauces, así los canales más pequeños se designan como de orden 1, cuando dos canales de orden 1 se unen forman uno de orden 2, es decir, cuando dos canales de orden i se unen, formara uno de orden $i+1$, pero si se presenta el caso de la unión de un canal de orden bajo con uno de orden mayor preservara aquel que tenga el mayor orden. Los canales de primer orden son corrientes portadoras de aguas de nacimientos y no tienen afluentes, normalmente estos cauces

²² Ibídem

²³ Ibídem



solo fluyen durante un tiempo húmedo; si la cuenca presenta un orden de corrientes bajo se observara que los suelos son muy resistentes a la erosión o son muy permeables²⁴.

Método de Horton-Strahler

Se numeran las corrientes iniciando con aquellas de primer orden, tal como se mencionó anteriormente y se continúa con esa misma numeración hasta llegar al Río Principal en donde se cierra la cuenca, el valor del orden del Río principal es conocido como el Orden de la cuenca²⁵.

Método de Gravelius

Contrario al método de Horton, en este se numera desde la corriente principal en el cierre de la cuenca hacia las corrientes donde se producen los nacimientos, siendo mayor el número de orden en estas corrientes y por ende la corriente principal definida como orden 1²⁶.

10.1.2.9 LEYES DE HORTON

Horton desarrollo un estudio el cual podría ordenar las redes del rio, de este obtuvo leyes que fueron el resultado de relacionar el número y la longitud de los ríos de diferente orden²⁷.

1. Relación de bifurcación

²⁴ Chow, V. T. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá - Colombia: Mac Graw Hill.

²⁵ Reyes Trujillo Aldemar, U. B. (2011). *Guia básica para la carectización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Cali - Colombia: Universidad del Valle.

²⁶ Ibídem

²⁷ Chow, V. T. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá - Colombia: Mac Graw Hill.



Es la relación entre el número total de cauces, permite comprender algunas variaciones geocológicas como los cambios en el sustrato rocoso y de los grupos de suelos dominantes. Los valores de este parámetro se encuentran dentro de un rango entre 3 y 5, los valores muy altos de R_b indica que la cuenca posee zonas muy montañosas y rocosas con fuertes pendientes o cuencas alargadas, pero si se presenta un valor bajo presenta alto riesgo de inundación por la concentración de la esorrentía²⁸.

$$R_b = \frac{n_i}{n_{i+1}}$$

Donde:

R_b : Relación de bifurcación (Adimensional).

n_i : Número total de cauces de orden i.

n_{i+1} : Número total de cauces de orden i+1.

2. Relación de Longitud.

Relaciona la longitud promedio de un orden con la longitud promedio de los cauces de orden inferior, sus valores se encuentran en un rango de 3 y 5. Indica la capacidad de almacenamiento momentánea de agua e influye en el caudal pico²⁹.

$$R_l = \frac{L_i}{L_{i-1}}$$

Donde:

R_l : Relación de longitudes (Adimensional).

L_i : Longitud promedio de todos los cauces de orden i (m)

²⁸Reyes Trujillo Aldemar, U. B. (2011). *Guia básica para la carectización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Cali - Colombia: Universidad del Valle, P.69.

²⁹ Ibídem



L_{i-1} : Longitud promedio de todos los cauces de orden $i-1$ (m)

10.1.2.10 DENSIDAD DE LOS CAUCES

Densidad del drenaje - Método de Horton D_d

Relaciona la longitud total de los cursos de agua de una cuenca y su área total, determina la complejidad y el sistema de drenaje de la cuenca³⁰.

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Donde:

D_d : Densidad de drenaje.

$\sum L_i$: Suma de las longitudes de los drenajes que se integran en la Cuenca (km).

A : Área de la cuenca (km²).

³⁰ Ibidem



10.1.3 HIDROGRAMAS

Un hidrograma representa de forma gráfica la respuesta que tiene una cuenca a la precipitación que cae sobre ella; se encuentra en función de la intensidad, duración y distribución. A partir de dichos hidrogramas es posible identificar posibles comportamientos de lluvia y de la cuenca en un futuro, para ello es necesario obtener datos a partir de un limnógrafo los cuales determinan los niveles de agua en un tiempo determinado³¹.

10.1.3.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS COMPONENTES DE UN HIDROGRAMA

Para entender de forma más clara el funcionamiento de un hidrograma es necesario entender la relación entre los componentes de lluvias y caudal que se van presentando a medida que transcurre el aguacero. A continuación se explicara cada uno de ellos que se encuentra en el libro Hidrología Básica de Medina, G. A. (1998):

10.1.3.1.1 INTERCEPCIÓN

Se denomina como el volumen de lluvia que queda sobre los árboles, edificios, etc., donde consecutivamente se evapora.

10.1.3.1.2 RETENCIÓN SUPERFICIAL

Es aquel que cae sobre los charcos y depósitos impermeables de poca profundidad. Al igual que el componente anterior de evapora.

³¹ Medina, G. A. (1998). *Hidrología Basica*. Santafé de Bogotá: Unidad de publicaciones de la facultad de ingeniería Universidad Nacional de Colombia.



10.1.3.1.3 HUMEDAD DEL SUELO

El suelo tiene la capacidad de almacenar agua de diferentes formas, para que la demanda de humedad del suelo se satisfaga. Una vez la capacidad del suelo de almacenar humedad se compense el exceso de agua drena de forma vertical o subsuperficial.

10.1.3.1.4 AGUA SUBTERRÁNEA

El depósito subterráneo se encuentra ubicado debajo del nivel freático, por lo tanto esta zona se encuentra saturada de agua. A medida que este se infiltra el agua va variando el volumen almacenado en el depósito.

10.1.3.1.5 FLUJO SUBSUPERFICIAL

Es aquel volumen de agua de lluvia que no es retenida por el suelo, pero se infiltra por medio poroso en capas superiores paralelamente al terreno, hasta que vuelve a la superficie y fluye por la corriente de drenaje.

10.1.3.1.6 ESCORRENTÍA SUPERFICIAL DIRECTA

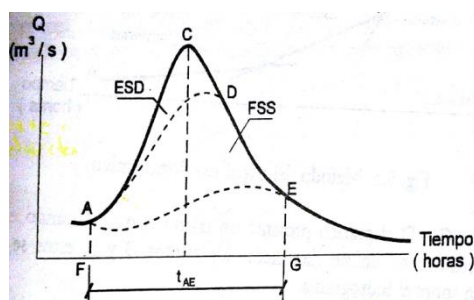
Parte de la lluvia que no se infiltra se denomina lluvia en exceso o lluvia neta, la cual se convierte en escorrentía superficial directa.

A pesar de que existen diferentes componentes es importante tener en cuenta que el hidrograma solo consta de tres parámetros que son el agua subterránea, flujo subsuperficial y escorrentía superficial directa como se muestra en la siguiente ilustración³².

³² Ibídem



ILUSTRACIÓN 3. Separación de los componentes de un hidrograma

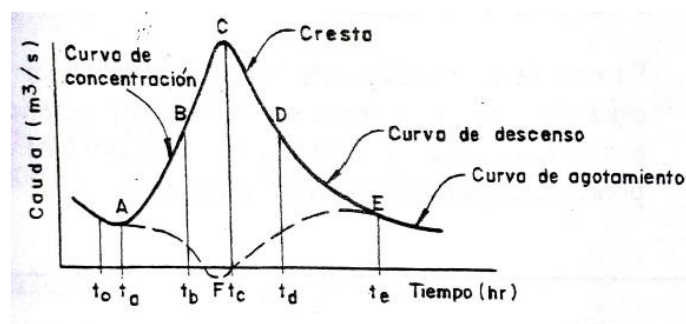


Fuente: (Medina, 1998)

10.1.3.2 HIDROGRAMA UNITARIO

Fue propuesto por Sherman, se utiliza para deducir un hidrograma que es consecuencia de la lluvia y transformar dichos datos en caudal. Originalmente fue desarrollado para cuencas grandes, pero se ha encontrado que este método es funcional en cuencas pequeñas desde menos de 0,5 ha hasta 25 km²³³.

ILUSTRACIÓN 4. Análisis del hidrograma



Fuente: (Medina, 1998)

El análisis del hidrograma se presenta a continuación³⁴:

³³ Chow, V. T. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá - Colombia: Mac Graw Hill.

³⁴ Medina, G. A. (1998). *Higrología Basica*. Santafé de Bogotá: Unidad de publicaciones de la facultad de ingeniería Universidad Nacional de Colombia.



Punto A: marca el comienzo del hidrograma y comienza a aumentar el caudal, por lo tanto el nivel del río empieza a subir. En este punto el componente principal es el agua subterránea.

Punto A - B: En este tramo la totalidad de la cuenca contribuye, la alimenta la escorrentía superficial directa, flujo subsuperficial y agua subterránea (su aporte es bajo).

Punto B – D: Toda la cuenca está contribuyendo, se denomina cresta del hidrograma. Antes de llegar al punto D finaliza el aporte de la escorrentía superficial directa.

Punto C: en este punto se presenta el caudal máximo de la cuenca. Su magnitud es pequeña en terrenos montañosos y grandes en llanuras.

Punto D – E: Su aporte está compuesto por el flujo subsuperficial y el flujo subterráneo. La duración de la curva depende del flujo subsuperficial, la cual termina en el punto E.

Punto E: En único aporte en este punto proviene del flujo subterráneo.

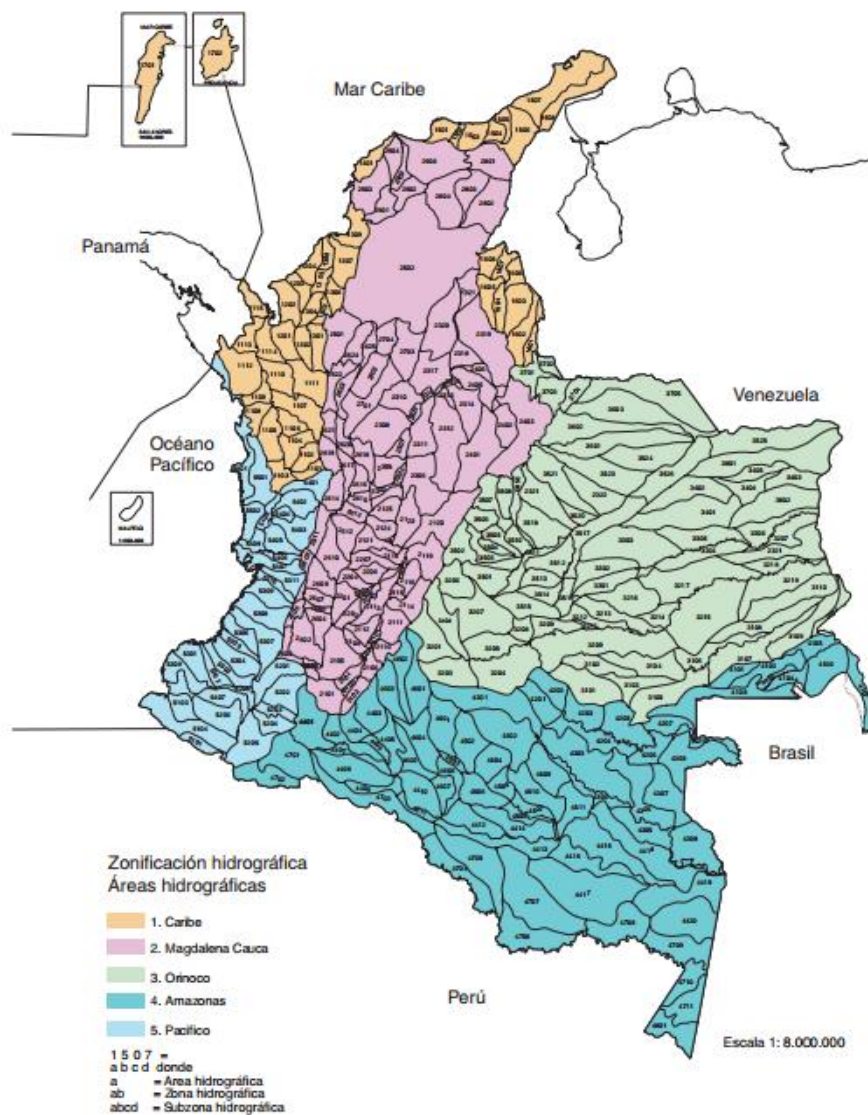
10.2 MARCO GEOGRÁFICO

En Colombia existen 5 áreas geográficas, las cuales se dividen en 41 zonas y 329 subzonas, en nuestro caso trabajaremos con la zona 23 la cual corresponde al medio magdalena y dentro de esta se encuentra la zona 2306 que corresponde a la cuenca de Río Negro. A continuación se mostrara la distribución de las zonas:³⁵

³⁵Mauricio, B. (06 - 07 de Octubre de 2010). *Caracterización hidrológica de los ríos en Colombia*. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/documentos/DocumentosBiodiversidad/recurso_hidrico/131010_ideam.pdf



ILUSTRACIÓN 5. Zonas Hidrológicas



Fuente:(Gracia Martha)

La Cuenca del Río Negro se encuentra ubicada al norte del Departamento de Cundinamarca, pertenece a una subcuenca del Río Magdalena, su extensión corresponde a 4235,24 Km² esta subdividido en la provincia de Gualivá, Magdalena Centro y Río Negro³⁶.

³⁶Ibidem



TABLA 4. Provincias de la cuenca de Rio Negro con sus diferentes características

| Provincias | Extensión territorial Km ² | Municipios | Principales características |
|------------|--|--|--|
| Rio Negro | 2.354 | El Peñon, La Palma, Pacho, Paime, San Cayetano, Topaipi, Villagomez y Yacopi | El Índice de escasez de agua es mínimo, lo que significa que la demanda por agua en la Provincia es muy baja con relación a la oferta, sin embargo en dos municipio, Pacho y El Peñón la disponibilidad del recurso hídrico es baja, lo que lleva a que la población pueda sufrir problemas de abastecimiento de agua ³⁷ . San Cayetano presenta inestabilidad debido a la geografía del terreno, lo que lleva a que ocurran deslizamientos de tierra en la zona ³⁸ . |
| Gualivá | 1.272 | <u>Albán,</u> <u>La</u> <u>Peña,</u> <u>La Vega,</u> <u>Nimaima,</u> <u>Nocaima,</u> <u>Quebradanegra,</u> | La Provincia tiene un sistema hídrico frágil, sus fuentes de agua son pequeñas y no alcanzar a satisfacer su abastecimiento a la comunidad. En periodos secos puede ocurrir una situación |

³⁷Hoyos, S. P. (2011). *Plan de competitividad y desarrollo económico de la provincia de Rio Negro*, P. 36-37. Obtenido de http://www.urosario.edu.co/urosario_files/06/0687d1df-f0ec-4463-8894-f51ddd955de4.pdf

³⁸Ibidem.



| | | | |
|------------------|-------|--|---|
| | | <u>San Francisco</u> , <u>Sasaima</u> , <u>Supatá</u> , <u>Útica</u> , <u>Vergara</u> y <u>Villeta</u> | crítica ³⁹ . La deforestación, el inadecuado manejo de pesticidas y vertimiento de aguas negras y residuales y la explotación del suelo, lleva a un agotamiento del recurso hídrico, en Villeta, Quebrada Negra, Útica, La Peña, Nimaima, Vergara y Supatá se presenta inestabilidad del terreno ⁴⁰ . |
| Magdalena Centro | 1.048 | <u>Beltrán</u> , <u>Bituima</u> , <u>Caguaní</u> , <u>Guayabal de</u> <u>Síquima</u> , <u>Pulí</u> , <u>S</u> <u>an Juan de</u> <u>Rioseco</u> y <u>Viani</u> | Cuenta con variedad de pisos térmicos y zonas de reserva, el índice de escasez de agua es mínimo, al igual que las otras provincias puede sufrir problemas de abastecimiento de agua. En Chaguaní, San Juan de Río Seco y Guayabal de Síquima presenta inestabilidad del terreno ⁴¹ . |

Fuente: Compilado por las autoras

De igual manera la Cuenca de Río Negro está conformado por 16 subcuencas, en el siguiente cuadro se recopiló información y se muestra las sus diferentes características⁴²:

³⁹López Obregón Clara, A. O. (2011). *Actualización del diagnóstico de la región capital: Bogotá-Cundinamarca*. Obtenido de http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/SeguimientoPoliticap/politicalIntegracionRegional/Banco%20de%20Documentos%20de%20Integraci%F3n%20Regional/bancoDocumentos/dirni_diagnostico-regioncapital.pdf

⁴⁰Hoyos, S. P. (2011). *Plan de competitividad y desarrollo económico de la provincia de Gualiviá*, P. 35-36. Obtenido de http://www.urosario.edu.co/urosario_files/37/37187103-b9dd-4593-9e64-325741d7bcc3.pdf

⁴¹Hoyos, S. P. (2011). *Plan de competitividad y desarrollo económico de la provincia de Magdalena Centro*. Obtenido de http://www.urosario.edu.co/urosario_files/17/17c4fee0-72f3-4f12-8fc7-7dad857bc67f.pdf

Disponible en: http://www.urosario.edu.co/urosario_files/17/17c4fee0-72f3-4f12-8fc7-7dad857bc67f.pdf

⁴²Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (02 de Septiembre de 2011). *Parte 2 Prospectiva y escenarios-informe POMCA-001-UT*. Recuperado el 2013, P.15-16, de <http://www.car.gov.co/?idcategoria=13640>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (02 de Septiembre de 2011). *Diagnostico de la cuenca*. Recuperado el 2013, P.15-16, de <http://www.car.gov.co/?idcategoria=13642>



TABLA 5. Subcuencas de la cuenca de Rio Negro

| Subcuenca | Coordenadas | Municipio | Principales características | | | | | |
|-------------------|--|---|-----------------------------|--------------|-------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------|
| | | | Área Km ² | Perímetro Km | Longitud Km | Ancho Máximo Km | Ensanchamiento Medio Km | Pendiente media del cauce % |
| Río Bajo Negro | N. 1132140 S. 1106049 O. 937751 E. 960585 | Puerto Salgar, Yacopí | 231,95 | 116.12 | 41.66 | 10.76 | 5.54 | 1.28 |
| Río Gūaguaquí | N. 1137234 S. 1089917 O. 955034 E. 960585 | Yacopí | 495,97 | 172.07 | 57.55 | 16.91 | 11.51 | 1.28 |
| Río Terán | N. 1127667 S. 1110942 O. 955593 E. 968316 | Yacopí | 108,02 | 56.40 | 18.86 | 7.38 | 6.46 | 5.76 |
| Río Macopay | N. 1111752 S. 1090605 O. 948565 E. 966978 | Yacopí, Caparrapí, Guaduas, Puerto Salgar | 256,11 | 72.22 | 22.21 | 16.91 | 11.51 | 5.76 |
| Río Cambrás | N. 1091945 S. 1078776 O. 935867 E. 944050 | Caparrapí | 69,34 | 37.63 | 13.39 | 7,24 | 5.63 | 1.77 |
| Quebrada Gūatachí | N. 1094175 S. 1085977 O. 947642 E. 959178 | Caparrapí | 53.16 | 30.74 | 11.46 | 8.76 | 5.38 | 8.15 |
| Río Guadero | N. 1066385 S. 1044116 O. 937872 E. 948652 | Guaduas, Puerto Salgar, Útica, Caparrapí | 172.38 | 61.66 | 22.91 | 9.77 | 8.59 | 4.53 |
| Río Medio Negro | N. 1107191 S. 1107191 O. 938843 E. 956041 | Guaduas, Útica, La Peña | 400.77 | 151.74 | 52.29 | 13.28 | 8.59 | 0.35 |
| Río Patá | N. 1093408 S. 1067151 O. 948680 E. 964753 | La Palma, Caparrapí, Guaduas, Útica | 228.11 | 75.15 | 28.16 | 14.74 | 8.81 | 3.47 |
| Quebrada Negra | N. 1066053 S. 1051642 O. 948311 E. 955731 | Quebrada Negra, La Peña | 70.15 | 39.95 | 15.19 | 6.48 | 4.53 | 7.25 |
| Quebrada Terama | N. 1073347 S. 1060430 O. 954885 E. 966299 | Útica, La Palma, La Peña, El Peñon, Ninaima, Vergara, Nocaima | 84.76 | 41.57 | 13.89 | 11.24 | 7.35 | 5.19 |
| Río Medio Negro 2 | N. 1077072 S. 1053627 O. 954559 E. 971229 | Quebrada Negra, Guaduas, Villeta, Vianí, Bituima, Guayabal de | 162.27 | 100.05 | 32.61 | 10.58 | 7.48 | 1.25 |

Fuente: Compilado por las autoras



Dentro de las diferentes características que se encuentran dentro de las subcuencas podemos ver que en Río Bajo Negro se establece que este drena en sentido suroeste – noreste, la estación climatológica de Puerto Libre arroja valores de precipitación media anual de 2050.2 mm, en Noviembre de 225 mm, Octubre: 270 mm (Mayor precipitación) y abril de 245.4 mm (Mes más lluvioso), en Río Guaduro y Río Tobia hay una mayor desarrollo de obras viales, mientras que en Quebrada Negra es un área la cual ocurre mayores desastres naturales (avalancha), en Río Tobia hay disposición de residuos sólidos y se dedican a actividades de ecoturismo, en los municipios de paño y el peñón se cuenta con una planta de tratamiento de agua residual la cual da una mejor calidad de vida⁴³.

Dentro de la cuenca de Río Negro se encuentran cinco (5) estaciones que aportaran la información necesaria de precipitación para desarrollar la investigación y estas se encuentran a cargo del IDEAM.

TABLA 6. Estaciones que se encuentran en la cuenca de Río Negro


| CODIGO | TIPO | NOMBRE | SUBCUENCA | DEPTO | MUNICIPIO | ELEVEVACIÓN | ENTIDAD | FECHA INSTALACIÓ | NORTE | ESTE |
|---------|------|-------------|-----------|-------|-------------|-------------|---------|---------------------|-------|---------|
| 2306702 | LG | COLORADOS | NEGRO | CUND | PUERTO SALG | 286 | 1 | 02/1952 | 5,500 | -74,567 |
| 2306705 | LG | GUADUERO | NEGRO | CUND | GUADUAS | 410 | 1 | 08/1974 | 5,200 | -74,567 |
| 2306706 | LG | TOBIA | NEGRO | CUND | NIMAIMA | 620 | 1 | 08/1974 | 5,133 | -74,450 |
| 2306708 | LG | CHARCO LARG | NEGRO | CUND | EL PEÑON | 940 | 1 | 09/1974 | 5,250 | -74,350 |
| 2306015 | PM | PTO LIBRE | NEGRO | CUND | PUERTO SALG | 180 | 1 | 08/1974 | 5,750 | -74,617 |

Fuente:(Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2013)

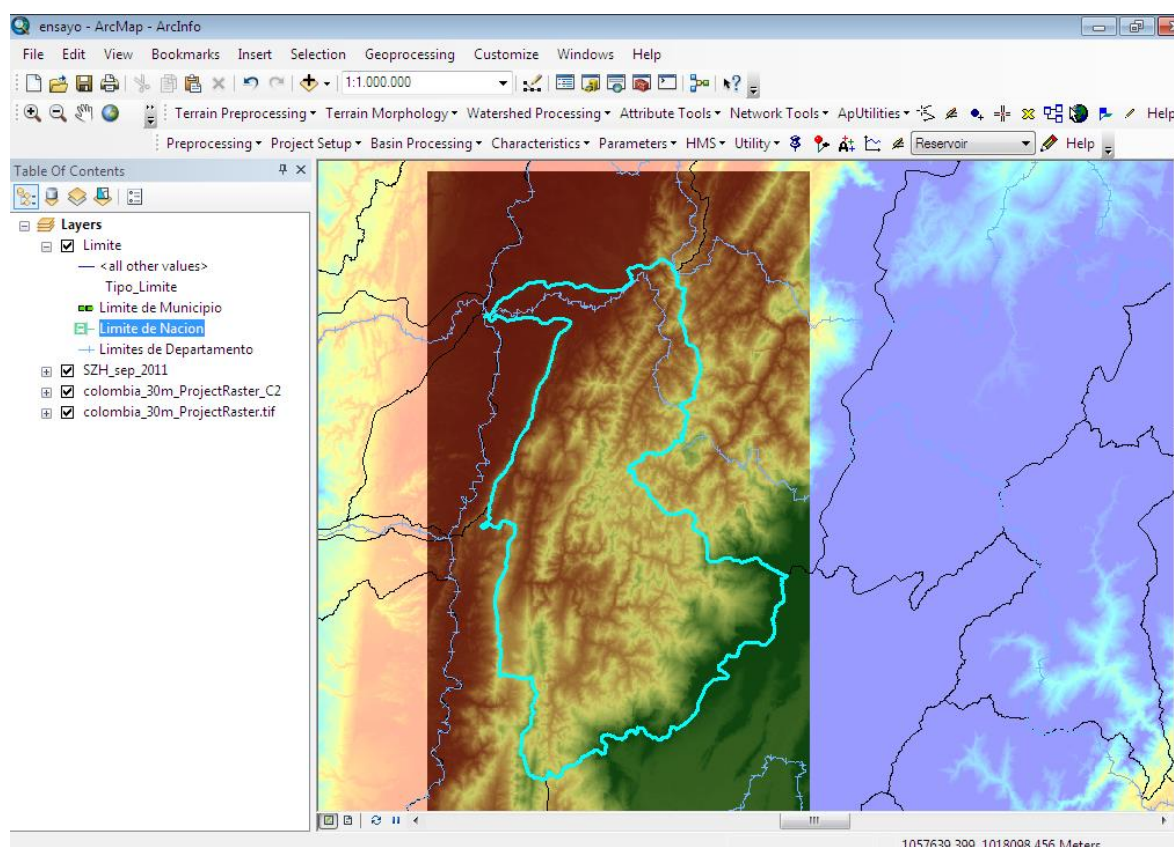
⁴³Ibídem.



La cuenca de Río Negro es una de la más extensa a cargo de la CAR, en esta predominan altas pendientes, una gran actividad sísmica lo que lleva a que sea una zona de inundaciones⁴⁴.A

continuación se muestran los límites del departamento que se muestran con la siguiente convención 

PANTALLAZO 1. SHZ 2306 con los límites de los departamentos.



10.3 MARCO LEGAL

⁴⁴Mauricio, B. (06 - 07 de Octubre de 2010). *Caracterización hidrológica de los ríos en Colombia*. Obtenido de http://www.minambiente.gov.co/documentos/DocumentosBiodiversidad/recurso_hidrico/131010_ideam.pdf



El marco legal expone programas para el cumplimiento de problemáticas que se encuentran dentro de la cuenca, dentro de estos se encuentran planes para el manejo ambiental. A continuación se citaran programas que han permitido mitigar los impactos ambientales⁴⁵:

- Programas para el desarrollo sostenible de las cuencas hidrográficas contenidos en el plan nacional de desarrollo “Hacia un Estado Comunitario 2007-2010”.
- Programas contenidos en los documentos de política CONPES para el desarrollo sostenible de las cuencas hidrográficas.
- Programas ambientales y los de gestión vigente para las CAR.
- Programas de los Planes de Ordenamiento Territorial y los Planes de Desarrollo tanto municipal como departamental 2004-2007.
- Programas convergentes de los PGAR y los PAT de la CAR.

Para el estudio de la cuenca de Rio Negro se tiene en cuenta la normatividad vigente, la cual se citara de estudios previos realizados por la CAR⁴⁶:

- Decreto Ley 2811 de 1974, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales
- Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
- Ley 23 de 1973 (Legislación Ambiental Colombiana), se enfoca hacia la protección de los recursos naturales y de esta manera controla por medio de sistemas al uso que le da los usuarios a los diferentes servicios.

⁴⁵Corporacion Autonoma Regional de Cundinamarca (CAR). (02 de Septiembre de 2011). *Parte 3Formulación – Cuenca Río Negro POMCA-001UT-, P.01T*. Recuperado el 2013, de <http://www.car.gov.co/?idcategoria=13640>

⁴⁶Corporacion Autonoma Regional de Cundinamarca (CAR). (02 de Septiembre de 2011). *Introducción informe POMCA-001-UT-, P.01T*. Recuperado el 2013, de <http://www.car.gov.co/?idcategoria=13640>



- Ley 99 de 1993, se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.
- Decreto 1729 del 2002 - Este decreto establece las disposiciones para el ordenamiento de una cuenca hidrográfica, el cual es reglamentario del Decreto – ley 2811 de 1974.
- Ley de Ordenamiento Territorial - Ley 388 de 1997. Se encuentra orientado a las zonas urbanas, asigna a la Nación la competencia sobre la política de ordenación territorial en lo relacionado con los parques nacionales y áreas protegidas, la localización de grandes proyectos de infraestructura y la localización de formas generales de uso de la tierra.
- Resolución No. 104 del 7 de julio de 2003. Clasifica y da prioridad a las cuencas hidrográficas.
- Guía Técnico Científica para la ordenación de Cuencas Hidrográficas en Colombia del IDEAM
- Lineamientos Para La Política Nacional De Ordenamiento Ambiental Del Territorio del Ministerio de Medio Ambiente

Se tiene en consideración políticas plasmadas en la Constitución Política y en la Ley 99 de 1993 (Ley general ambiental de Colombia)⁴⁷.

- El Estado debe tener como prioridad los intereses generales sobre los particulares.

⁴⁷Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Corporación Autónoma Regional de Boyacá. (27 de Febrero de 2009). *Resolución 327, Pro medio de la cual se aprueba el Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca de Río Negro, en jurisdicción de la CAR.* Obtenido de http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=cuenca%20hidrografica%20rio%20negro%20cundinamarca&source=web&cd=12&cad=rja&ved=0CCwQFjABOAo&url=http%3A%2F%2Fwww.nuevalegislacion.com%2Ffiles%2Fsusc%2Fcdj%2Fconc%2Fr_car_corbyc_327_09.doc&ei=3pDgUazoMnfh4AOjw4C4A



- La propiedad privada irá de la mano con la parte ambiental, y de esta manera no se verán afectada las funciones ecológicas.
- El medio ambiente y la biodiversidad del país deberán ser siempre una prioridad, se deberá garantizar un desarrollo sostenible y de esta manera podemos satisfacer las necesidades básicas de la población actual y futura mitigando el impacto ambiental.
- El Ordenamiento Ambiental del Territorio debe satisfacer las necesidades humanas, teniendo en cuenta el desarrollo económico y social.
- Se tendrá un plan de preservación del medio ambiente y recursos naturales, para ello habrán autoridades que deben realizar su respectiva vigilancia, tomando precauciones y llegando a una posible solución en el caso de que ocurra un daño grave.
- Ejecución de la Política de Ordenamiento ambiental del Territorio
- Defender los diferentes ecosistemas naturales teniendo en cuenta la demanda social y cultural.

Todo el componente ambiente le corresponde desarrollarlo, vigilarlo a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, a continuación se relaciona la normatividad la cual dio paso a crear el Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del río Negro⁴⁸.

- Resolución número 1597 del 14 de septiembre de 2005 expedida por la Comisión conjunta para la ordenación y manejo de la cuenca del río Negro, se declaró en ordenación cuenca hidrográfica de Rio Negro.

⁴⁸Ibidem.



- Aviso del 27 de septiembre de 2005 publicado en el diario *La República*, interesados en el contenido de la Resolución número 1597 del 14 de septiembre de 2005, se declara en ordenación la cuenca del río Negro.
- La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) celebró el Contrato de Consultoría número 031 del 27 de octubre de 2006 con la Unión temporal CPA Ingeniería Ltda. – Auditoría Ambiental Ltda., cuyo objeto es la *“elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del Río Negro, de conformidad con lo establecido en el Decreto 1729 de 2002 del Ministerio del Medio Ambiente sobre cuencas hidrográficas”*.
- El día 9 de septiembre de 2007 se reúne la comisión técnica conformada para la elaboración del Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del río Negro. Inicia el plan de ordenación de la cuenca y la Comisión conjunta podría aprobar parcialmente el POMCA.
- Acuerdo número 13 del 16 de mayo de 2007, modificado por el Acuerdo número 05 del 31 de marzo de 2008, el Consejo Directivo de la CAR aprobó el Plan de Acción Trienal 2007-2009, el cual contempla el programa Manejo Integral del Agua – Subprograma Monitoreo de la Oferta y Demanda Hídrica, que incluye el proyecto denominado Formulación e Implementación de los planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas, debe establecer 63 proyectos establecidos en los Pomcas del área que se encuentran en jurisdicción de la CAR, del cual forma parte la cuenca del río Negro.



- Decreto 1729 del 2002, diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca de río Negro, uso adecuado de los recursos hídricos.
- Artículo 22 del Decreto 1729 de 2002 dispone la debida intervención y revisión del plan de ordenamiento territorial de los municipios localizados en dicha zona.

Ley 1523 de 2012 – Gestión del Riesgo de Desastre- “Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones”, en ella se ve una modernización de la política del medio ambiente, la cual involucra tanto a la sociedad, el estado y la autoridad ambiental, la cual se hace responsables del medio ambiente⁴⁹.

10.4 MARCO DEMOGRÁFICO

El ordenamiento territorial de una zona se define según el Decreto 1974 de 1989 como el “...Proceso mediante el cual se orienta la utilización de los espacios de la biosfera y de la ocupación de los mismos en función del objetivo del Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables (DMI)”. (Núm. 4 Art. 4°), en donde es de gran importancia tener herramientas como políticas, plan de ordenamiento territorial (POT), participación ciudadana y desarrollo institucional, para dar un enfoque y un control a temas ambientales, sociales, económicos, culturales y políticos, garantizando de esta manera un buen manejo de los recursos naturales llegando así a lo que se denomina como desarrollo sustentable.

⁴⁹Dirigirse a la Ley 1523 de 2012



Uno de los instrumentos en el cual en la actualidad se ha convertido de gran importancia y a la cual se le ha dado un mayor enfoque ha sido todo lo relacionado con cuestiones ambientales, es por ello que se crea un ordenamiento ambiental del territorio (OAT), la cual debe suministrar información detallada sobre áreas protegidas o con restricción por peligro inminente de riesgo o amenazas naturales, cualificación de los ecosistemas y elaboración de estrategias para mitigar el impacto ambiental⁵⁰.

Por otra parte según El numeral 12 del artículo 5 de la Ley 99 de 1993 establece que es función del Ministerio del Medio Ambiente "expedir y actualizar el estatuto de zonificación y uso adecuado del territorio para su apropiado ordenamiento y las regulaciones nacionales sobre el uso del suelo en lo concerniente a los aspectos ambientales y fijar las pautas generales para el ordenamiento y manejo de las cuencas hidrográficas y demás áreas de manejo especial"⁵¹.

10.4.1 AMBIENTAL

Analizando el estado de la calidad del agua y del aire, se observa que en dicha cuenca estos factores se encuentran cada vez más degradados, la actividad humana y la gran necesidad de un mejoramiento de la calidad de vida han llevado a una situación crítica. En la cuenca de Rio Negro se encuentran que en la mayoría de municipios no se cuenta con un tratamiento de aguas residuales, la quema y tala indiscriminada son factores que aleatoriamente con otras actividades como las agroindustriales que exceden la capacidad del suelo, vertimientos residuales y el turismo de esta zona permiten el deterioro de los recursos y a su vez ha aumentado el índice de

⁵⁰Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (02 de Septiembre de 2011). *Introducción informe POMCA-001-UT, P.01T*. Recuperado el 2013, de <http://www.car.gov.co/?idcategoria=13640>

⁵¹Ibidem.



enfermedades respiratorias y pulmonares. La emisión de gases producidos como el metano contribuyen al calentamiento global, por ello se propone actividades como el reciclaje, implementación de políticas y reducción de talas, pero sin embargo no se ve una reducción de este problema⁵².

La cuenca se encuentra en un deterioro de la calidad de aguas superficiales y subterráneas, escasez de fuentes de abastecimiento (esto lleva a que la demanda de agua potable aumente), carencia de lugares para colocar residuos sólidos. En cuanto a la fauna y vegetación se observa una explotación indiscriminada, pérdida del recurso hídrico, detrimento del suelo debido a la actividad ganadera y agrícola y disminución de biodiversidad, uso exagerado de agroquímicos, caza de especies, también se observa que las plantaciones de eucalipto y pinos generan que los páramos pierdan su funcionalidad. Según la CAR e indicadores de la biodiversidad resalta que “para el período de tiempo comprendido desde 1987 hasta 2000, en la totalidad del territorio se presentó una pérdida de 36.532,24 ha de ecosistemas naturales, lo que equivale a una disminución del 13,76 %”, también destaca que la cuenca del rio negro cuenta con “ecosistemas BAD húmedo en cresta y crestón de montaña estructural con una cobertura que representa el 46,27% de toda el de la cuenca, área BMD húmedo en cresta y crestón de montaña estructural con 11,14% y el BMD muy húmedo en cresta y crestón de montaña estructural con 22,36%, los cuales presentan el mayor grado de transformación o pérdida en el área de jurisdicción de la CAR, pues en lo que respecta a cantidad de hectáreas transformadas, el páramo sub húmedo es el que mayor pérdida ha experimentado, con 13.606,99 ha, menos para dicho período.”⁵³ “

⁵²Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (02 de Septiembre de 2011). *Parte 2 Prospectiva y escenarios-informe POMCA-001-UT*. Recuperado el 2013, P.08-09, de <http://www.car.gov.co/?idcategoria=13640>

⁵³Ibidem.



Dentro de la cuencas existen una valorización de las subcuencas, en las cuales las divide en Áreas Con Tendencia A La Conservación, Protección Y Equilibrio (TCE), Áreas Con Tendencia A La Restauración Y Conservación (TR-C), Áreas Con Tendencia A La Degradación Natural (TDN), Áreas Con Tendencia A La Degradación Por Intervención Antrópica (TDA) y Áreas Con Tendencia A La Recuperación Para La Producción (TR-P). Estas están principalmente enfocadas en las zonas en donde se encuentra un mayor detrimento de su flora y fauna⁵⁴.

Se tiene programas de recuperación del medio ambiente, entre ellos se encuentra la preservación, conservación, restauración, recuperación y producción; para cada una de las subcuencas y zonas se toman diferentes estrategias y planes las cuales conforme a su necesidad se van desarrollando, teniendo en cuenta que todo debe ir monitoreado por las autoridades competentes⁵⁵.

10.4.2 SOCIAL

La cuenca de Rio Negro la conforma 23 municipios y 16 sub cuencas, ante el desarrollo social se ve reflejada una difícil situación debido a la falta de infraestructura vial, calidad de los suelos, calidad del pavimento etc., lo que hace que cualquier proyecto que se quiera realizar en esta zona posiblemente no tenga el éxito que se espera, en el siguiente pantallazo se muestra las obras civiles que van desde carreteras hasta centrales de energía y minería que se encuentran en la zona. En los últimos años se ha visto una disminución de la población en las diferentes

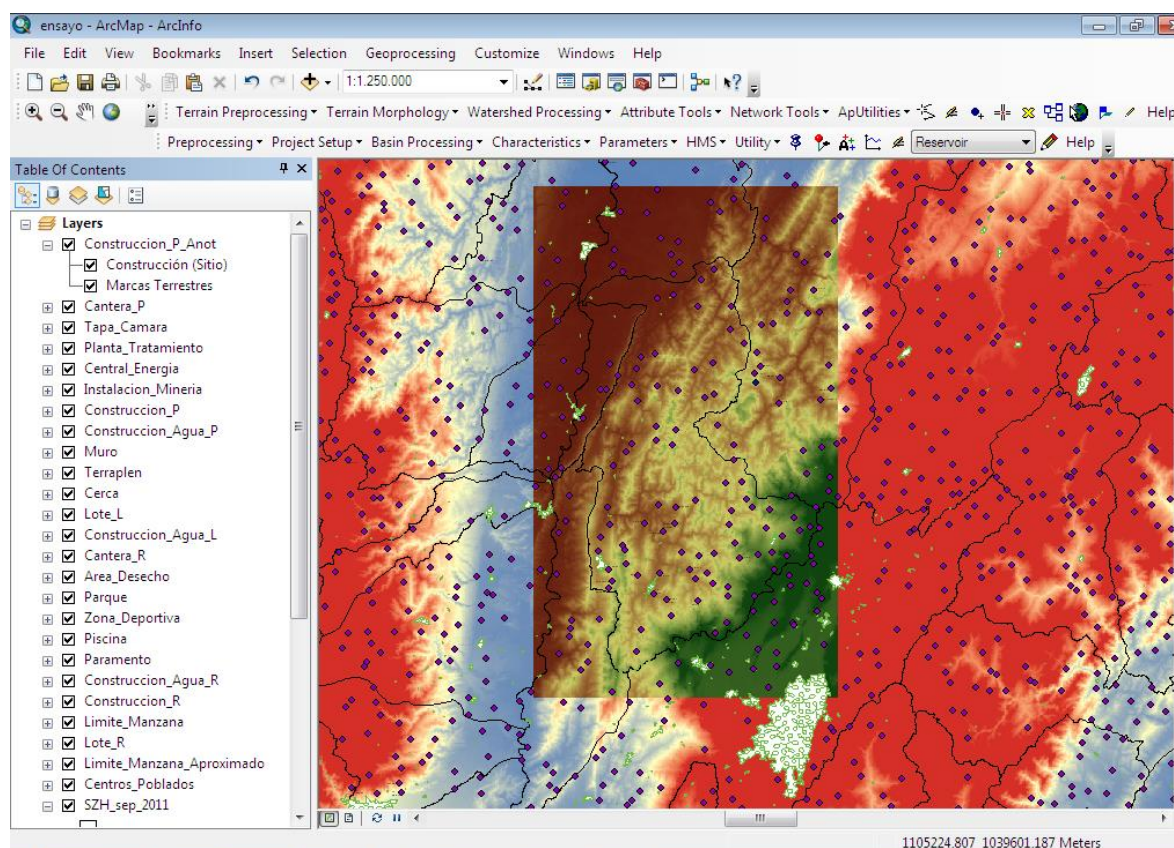
⁵⁴Ibidem

⁵⁵Corporacion Autonoma Regional de Cundinamarca (CAR). (02 de Septiembre de 2011). *Parte 3Formulación – Cuenca Río Negro POMCA-001UT-.* P.01T. Recuperado el 2013, P 06-07, de <http://www.car.gov.co/?idcategoria=13640>



zonas, esto se debe a la falta de oportunidades, poca prestación de los servicios públicos, salud y educación poco satisfactorias, transporte escaso y muy costoso, en fin se encuentra gran variedad de razones por las cuales las personas se ven obligadas a trasladarse a otras partes del país⁵⁶.

PANTALLAZO 2. SZH 2306 con construcciones de obras civiles



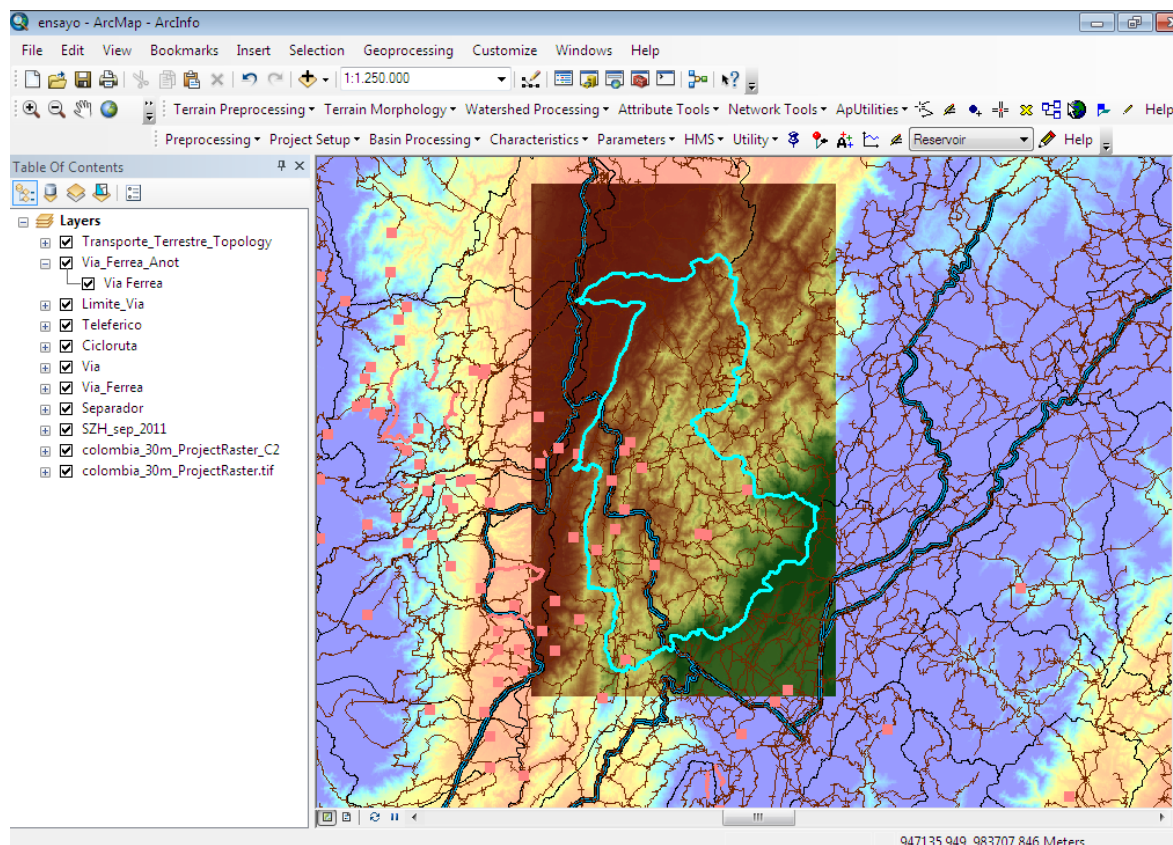
En la siguiente imagen se muestra las vías existentes en la cuenca de rio negro en donde aparecen las vías existentes en la cuenca de Rio Negro. La convención es la siguiente:

 Vías terrestres existentes

⁵⁶Corporacion Autonoma Regional de Cundinamarca (CAR). (02 de Septiembre de 2011). *Parte 2 Prospectiva y escenarios-informe POMCA-001-UT*. Recuperado el 2013, P.15-17-18, de <http://www.car.gov.co/?idcategoria=13640>



PANTALLAZO 3. SZH 2306 con vías existentes tanto férreas como terrestres.



10.4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

Principalmente la cuenca de Rio Negro está constituida por montañas y valle, es una zona altamente inestable, en el cual predominan fuertes pendientes, por lo cual se presentan deslizamientos, fallas y remoción de tierra debido a la tipología de los suelos y la humedad que este sector presenta, en este también prevalecen rocas las cuales se encuentran fracturadas y depósitos de laderas. Su altitud varía entre 800 y 3600 msnm y su temperatura entre 8 y 26 °C, se presentan lluvias en mayo y octubre y la temporada seca entre enero y julio. Un pequeño porcentaje de la cuenca cuenta con vegetación, debido al relieve de la cuenca se producen



diferentes corrientes que generan microclimas en cada micro cuenca. El río Negro nace en el municipio de Pacho, drena en dirección suroeste – noreste⁵⁷.

11 METODOLOGÍA

La metodología a seguir para la realización del proyecto comprende tópicos generales, que básicamente son inicialmente un análisis morfométrico de la cuenca del Río Negro y a continuación mediante el apoyo de los SIG, se completará dicho análisis para finalmente apoyados en el Paper de *Rodríguez Iturbe et. al. 1979*, determinar el Hidrograma Unitario Instantáneo geomorfológico, a continuación se describen estos pasos de forma más explícita:

1. Caracterización morfométrica de la cuenca
 - 1.1. Caracterización cuantitativa con ayuda de Sistemas de Información Geográfica (ARCGIS).

Enmarca principalmente las leyes de Horton, ya que los SIG son una herramienta muy útil para facilitar este trabajo.
2. Aplicación de la metodología del Hidrograma Unitario Instantáneo Geomorfológico, de acuerdo con *Rodríguez Iturbe et. al. 1979* (Maidment, 2002)(Sáenz, 1999)(Chow, 1994)(Mijares, 2004)
3. Realización del hidrograma unitario y validación de los resultados obtenidos para la cuenca del Río Negro correspondiente a la subzona Hidrográfica del IDEAM 2306 con los valores históricos que se tienen de la misma.

⁵⁷Armando, D. N. (Marzo de 2009). *Plan de manejo ambiental para atención de desastres por inundación en la quebrada Samabá, inspección de Talauta municipio del Peñon*. Obtenido de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/proyecto%20final%20carlos%20diaz%203.pdf>



12 RESULTADOS

12.1 RED DE DRENAJE A PARTIR DE SIG

Dentro del avance para los resultados que se han obtenido hasta el momento se tiene como etapa principal la caracterización morfométrica de la cuenca del Río Negro correspondiente a la subzona 2306 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), con la ayuda de Sistemas de Información Geográfica SIG, para ello se realizaron varias pruebas en ArcGIS principalmente para obtener la red de drenaje mediante un Modelo de Elevación Digital, en el cual se obtuviera una red lo más parecida posible a la que se propone en la Cartográfica del IGAC .

Dichas pruebas fueron posibles gracias al tutorial que se encuentra en el numeral de Productos, ya que se realizó siguiendo de manera ordenada y clara algunos de los pasos allí encontrados, posteriormente se realiza el planteamiento de las leyes de Horton con herramientas que nos proporcionan el programa MATLAB.

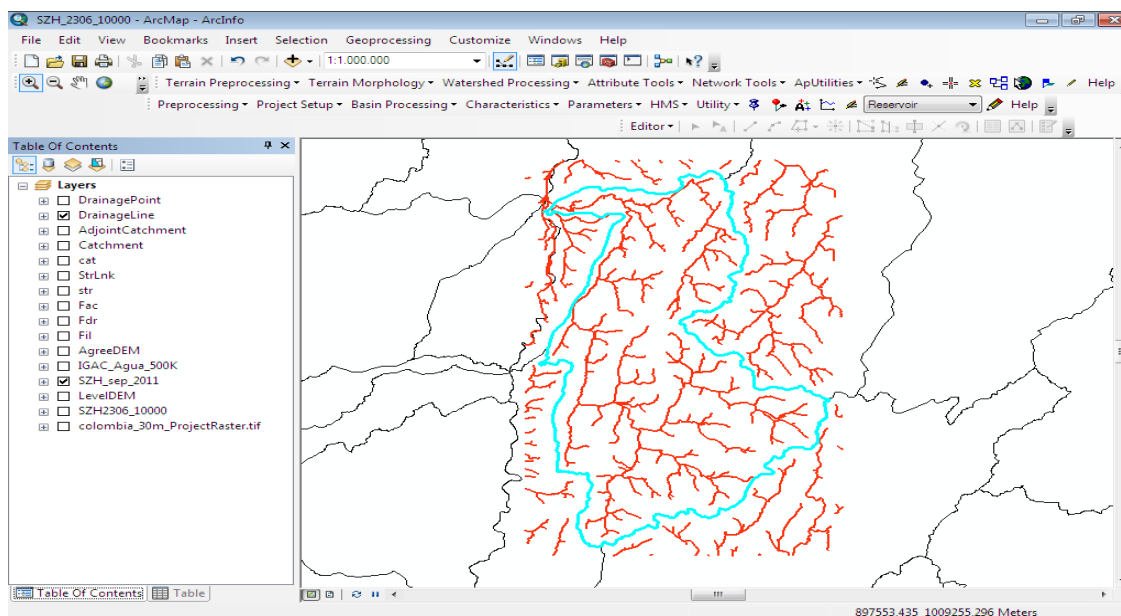
Hay que tener en cuenta que para la realización del modelo en ARCGIS, se deben tener muy claros los conceptos de cada uno de los comandos, lo cual se estudió previamente y se socializo con el Tutor del Proyecto, e Ingeniero Miguel Ángel Vanegas Ramos.

A continuación se muestran siete ensayos claves, en los cuales se tuvo que ingresar parámetros diferentes acerca del número de Celdas que el programa va a correr para un área específica hasta encontrar el número indicado que haga coincidir lo más preciso posible a la red de drenaje que se encuentra en la cartografía con el modelo que se genera.

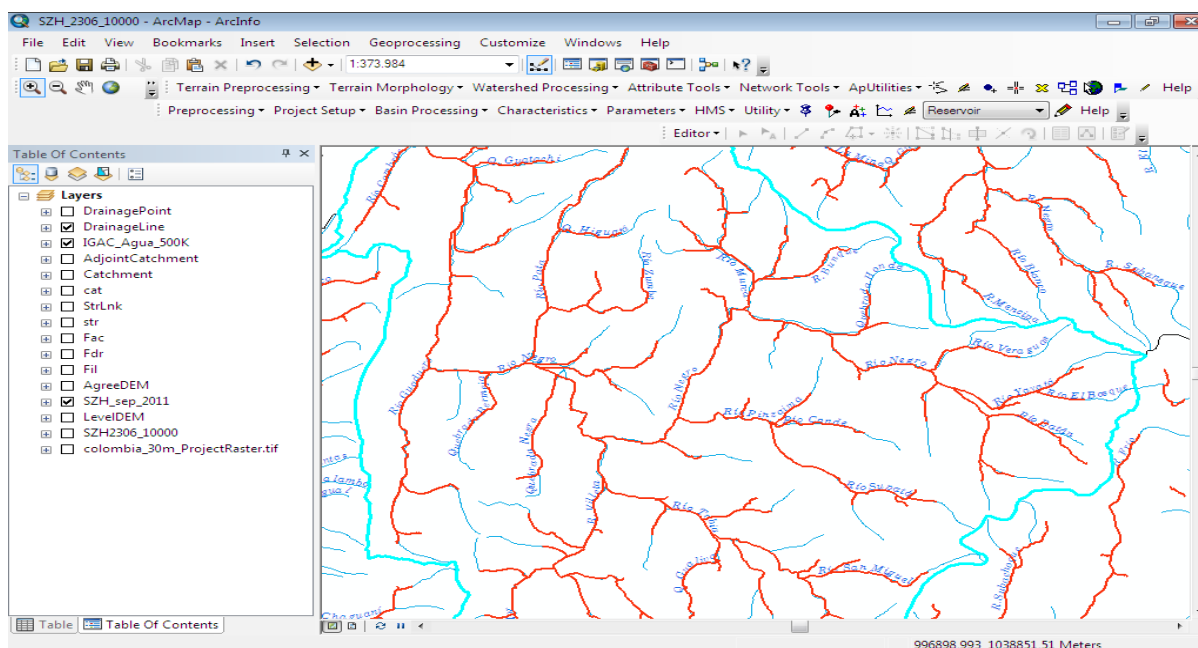


12.1.1 ENSAYO #1

PANTALLAZO 4. SZH 2306 con las líneas de drenaje que arrojo ArcGIS-Archydro para número de celdas 10000



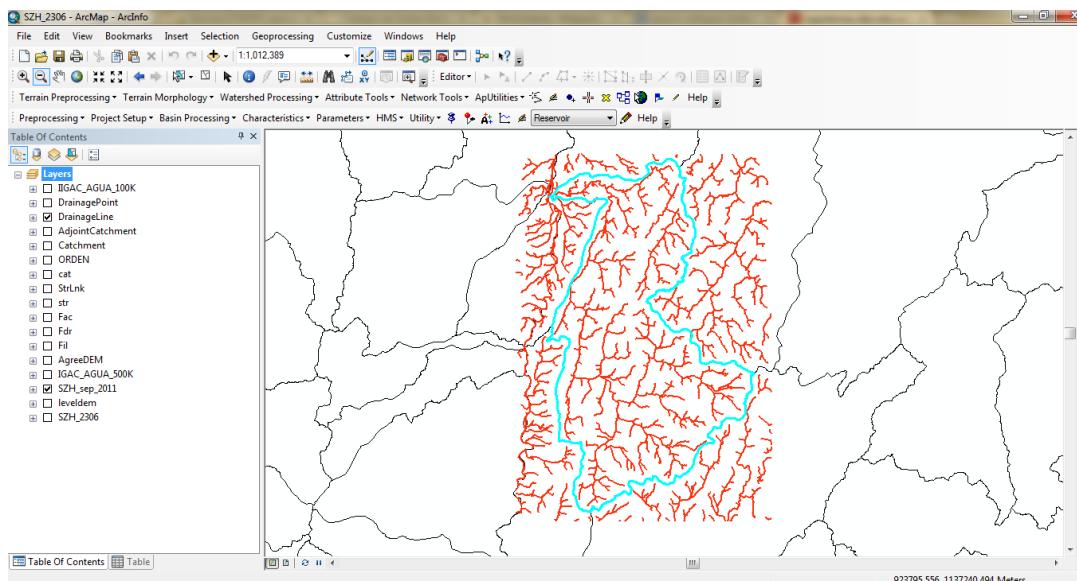
PANTALLAZO 5. Zoom de la SZH 2306. Líneas azules: cartografía. Líneas rojas: modelo ArcGIS



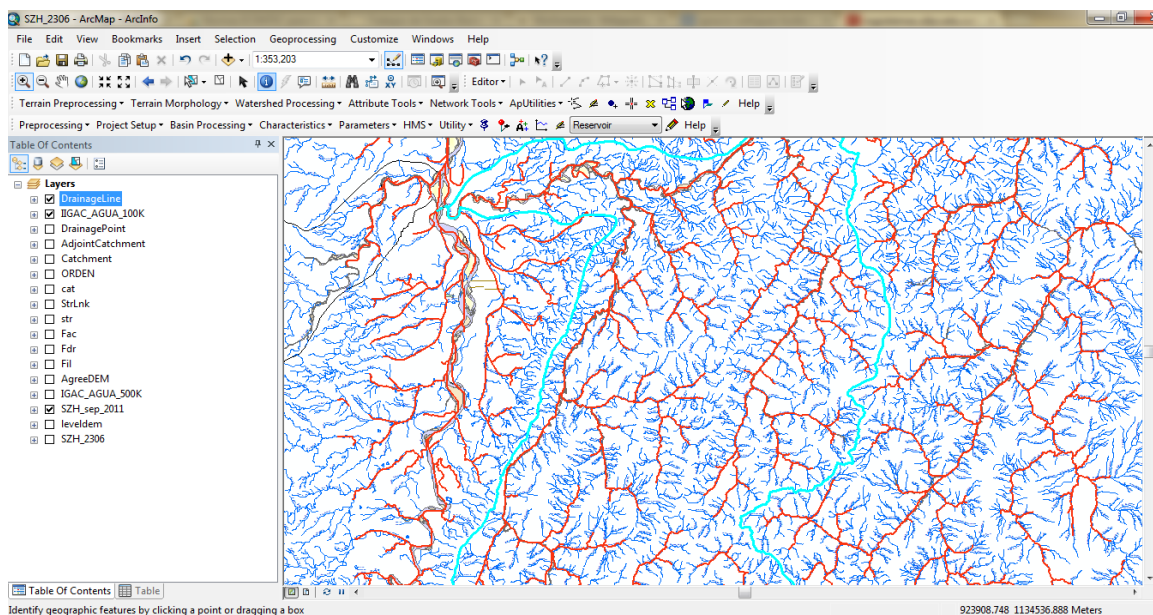


12.1.2 ENSAYO #2

PANTALLAZO 6. SZH 2306 con las líneas de drenaje que arrojo ArcGIS-Archydro para un número de celdas 5000



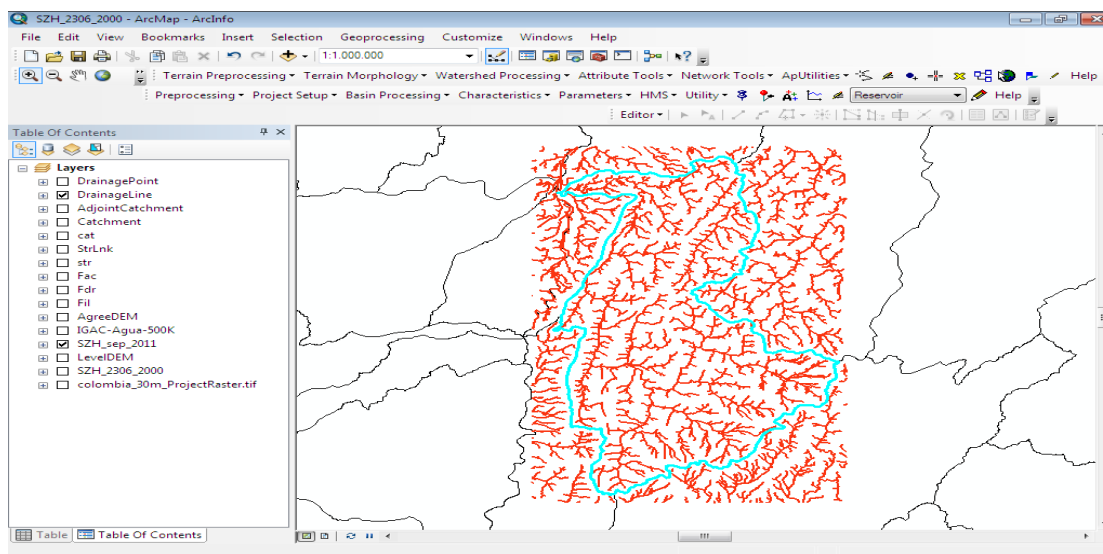
PANTALLAZO 7. ZOOM DE LA SZH 2306. Líneas azules: cartografía. Líneas rojas: modelo ArcGIS



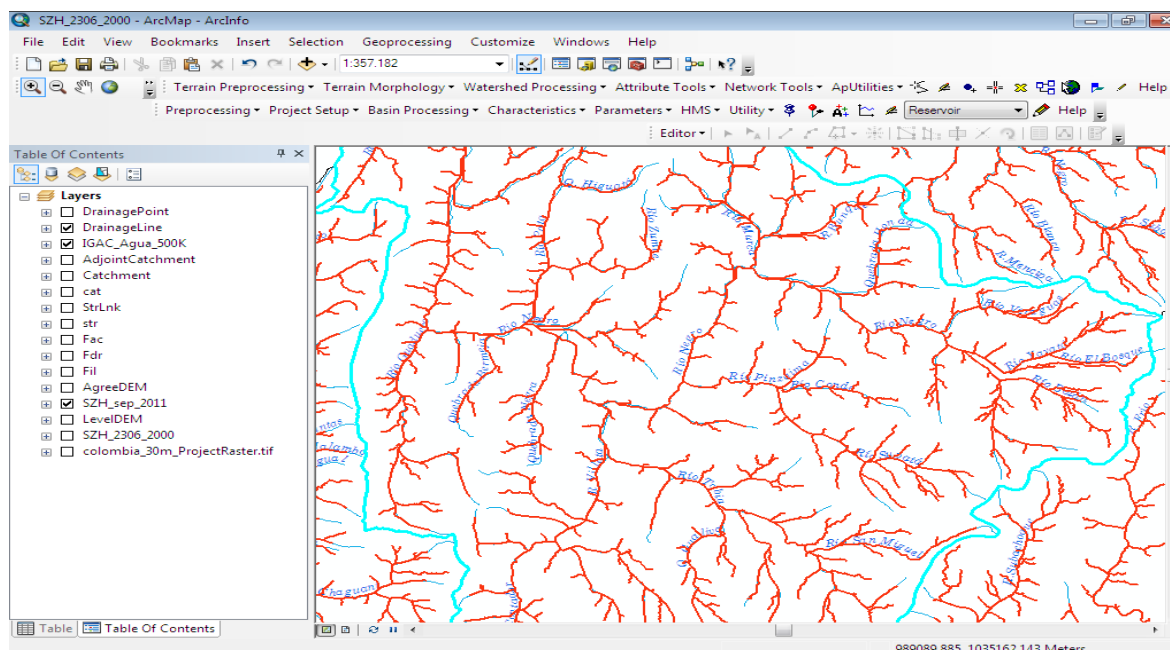


12.1.3 ENSAYO # 3

PANTALLAZO 8. SZH 2306 con las líneas de drenaje que arrojo ArcGIS-Archydro para número de celdas 2000



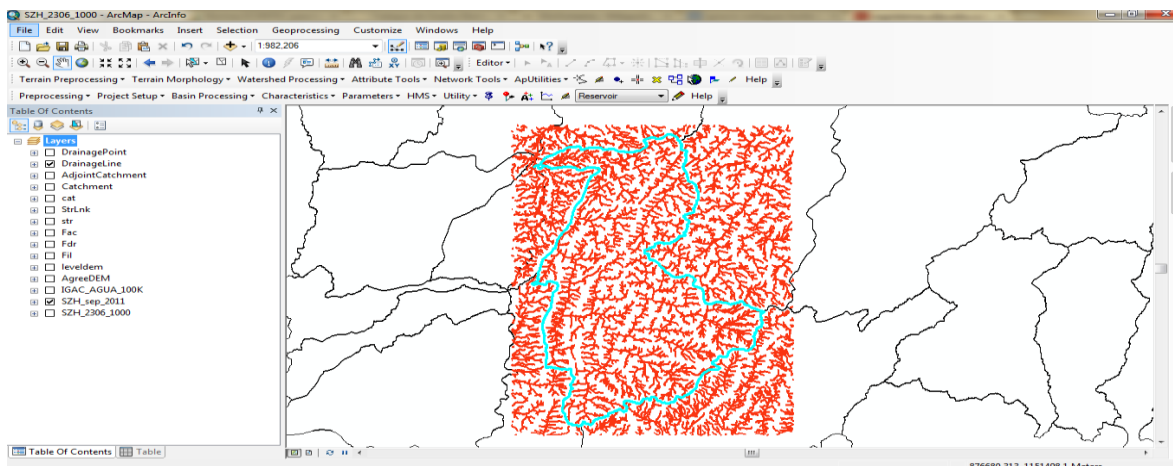
PANTALLAZO 9. Zoom de la SZH 2306. Líneas azules: cartografía. Líneas rojas: modelo ArcGIS



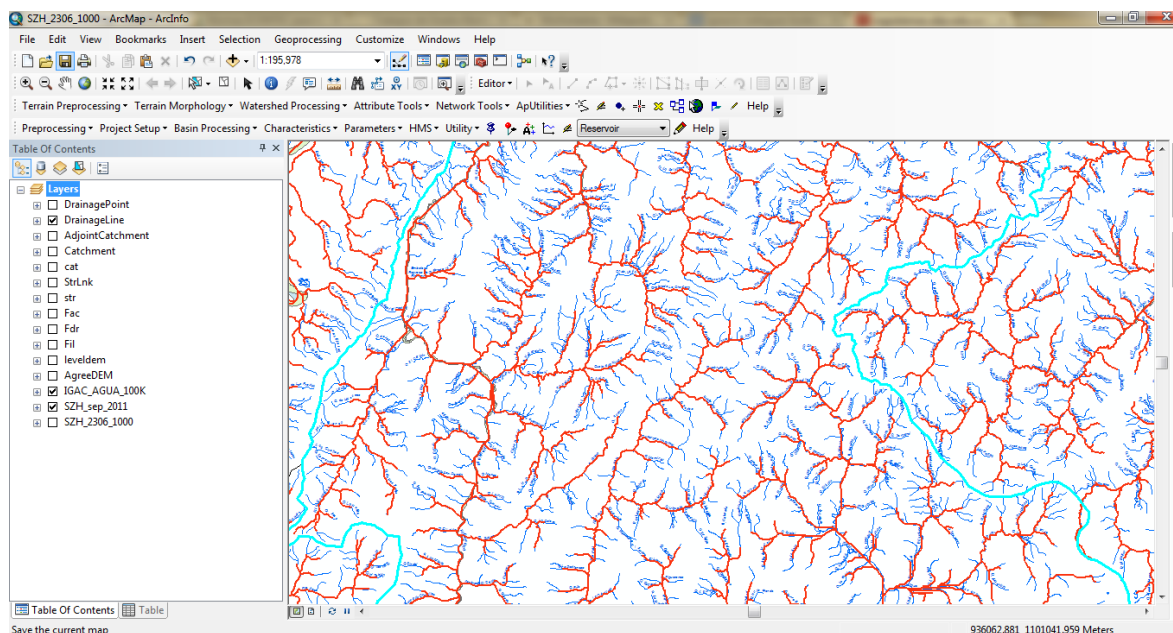


12.1.4 ENSAYO #4

PANTALLAZO 10. SZH 2306 con las líneas de drenaje que arrojo ArcGIS-Archydro para un número de celdas 1000



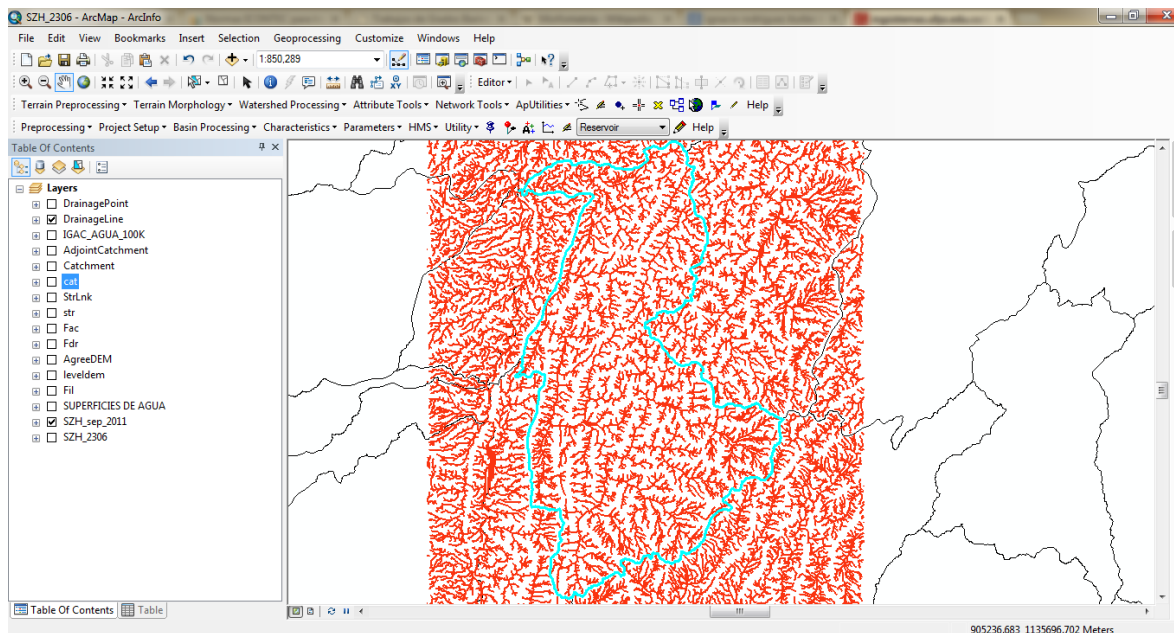
PANTALLAZO 11. Zoom de la SZH 2306. Líneas azules: cartografía. Líneas rojas: modelo ArcGIS.



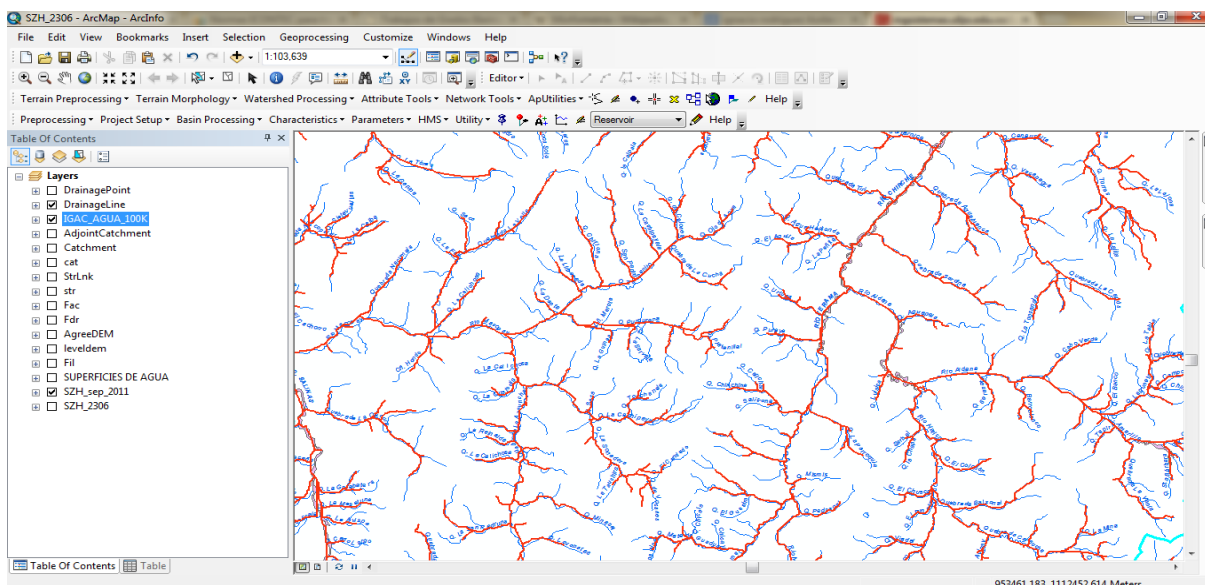


12.1.5 ENSAYO # 5

PANTALLAZO 12. SZH 2306 con las líneas de drenaje que arrojo ArcGIS-Archydro para un número de celdas 500



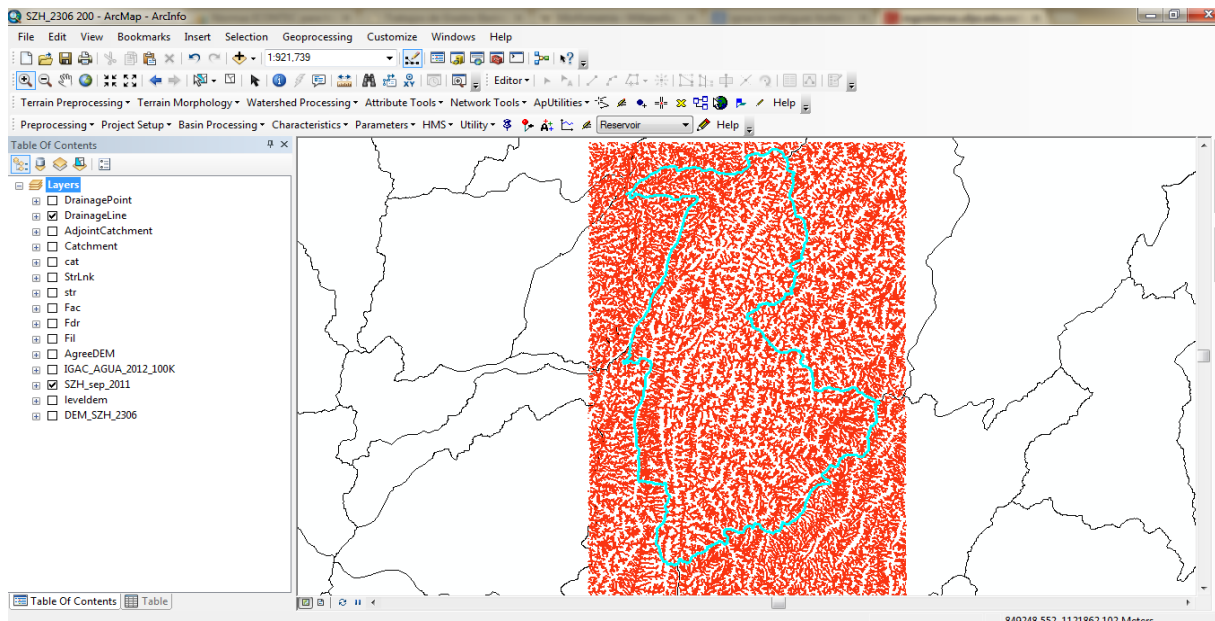
PANTALLAZO 13. Zoom de la SZH 2306. Líneas azules: cartografía. Líneas rojas: modelo ArcGIS



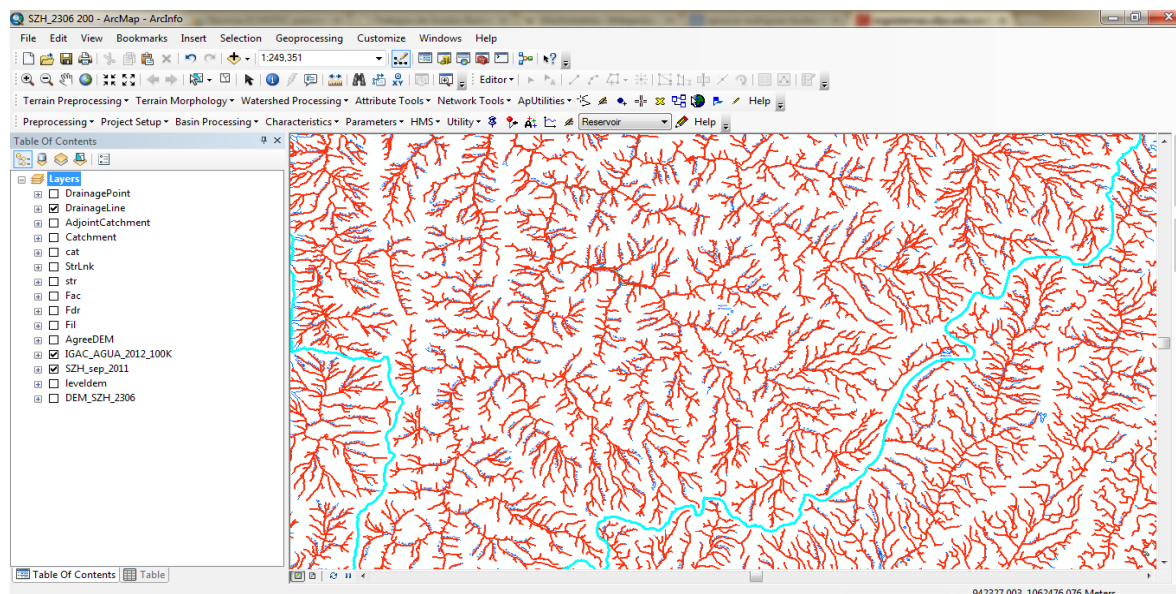


12.1.6 ENSAYO # 6

PANTALLAZO 14. SZH 2306 con las líneas de drenaje que arrojo ArcGIS-Archydro para un número de celdas 200



PANTALLAZO 15. Zoom de la SZH 2306. Líneas azules: cartografía. Líneas rojas: modelo ArcGIS





Finalmente se ha encontrado el modelo más próximo a la cartografía con escala 1:100.000 para la subzona Hidrográfica 2306 correspondiente al Río Negro, en este caso se trabajara con un numero de celdas de 500, 1000, 2000, 5000 y 10000, con el fin de comparar los datos números de Horton y analizar la variación de los mismos para diferentes escalas.

12.1.7 ENSAYO # 7

Debido a la accesibilidad de datos fue necesario realizar una prueba con número de celdas 500, en donde el punto de drenaje se encuentra en la estación 23067020 denominada Colorados, puesto que para esta estación si se cuenta con datos de Caudal que sirven para confirmar la asertividad del Hidrograma Unitario, lo cual no será posible si se realiza el procedimiento hasta la estación Puerto libre aun siendo más adecuado para el objetivo de esta tesis de grado.

ILUSTRACIÓN 6. SZH 2306 con las líneas de drenaje que arrojo ArcGIS-Archydro para número de celdas 500 delimitada hasta la estación Colorados

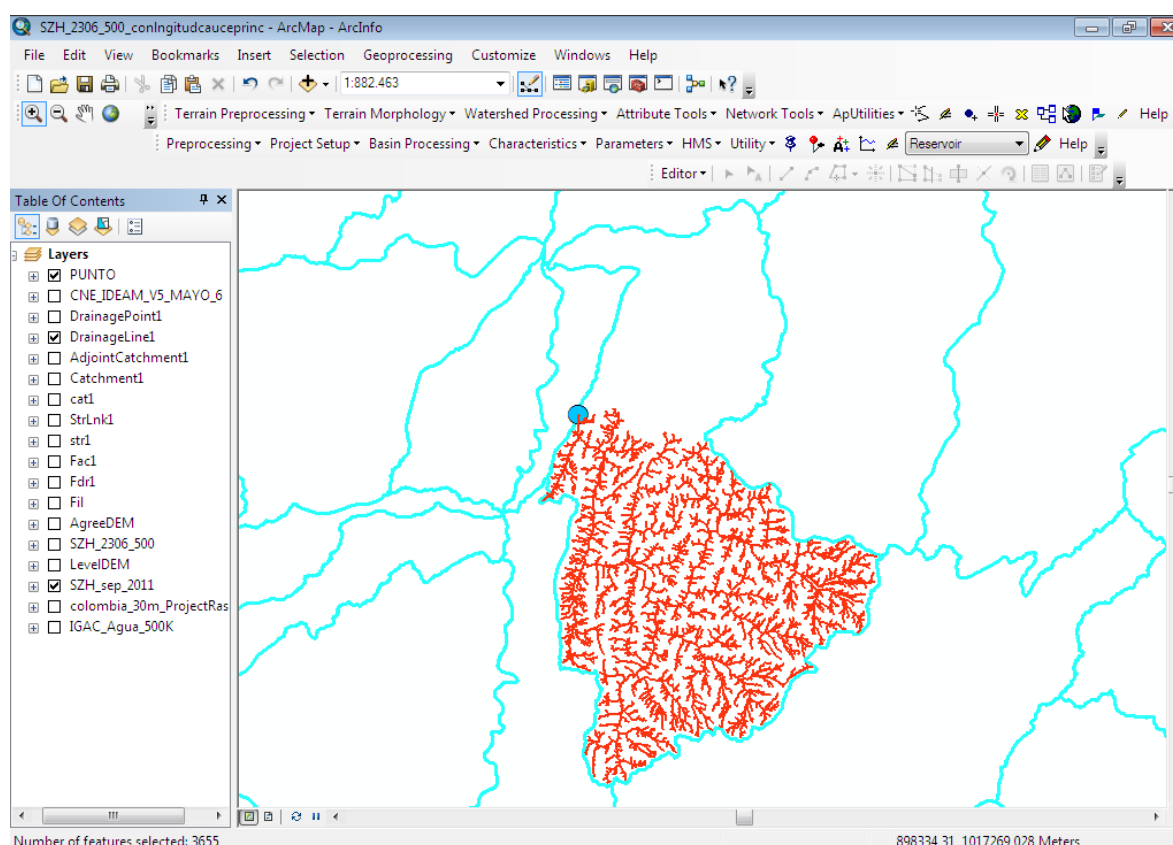
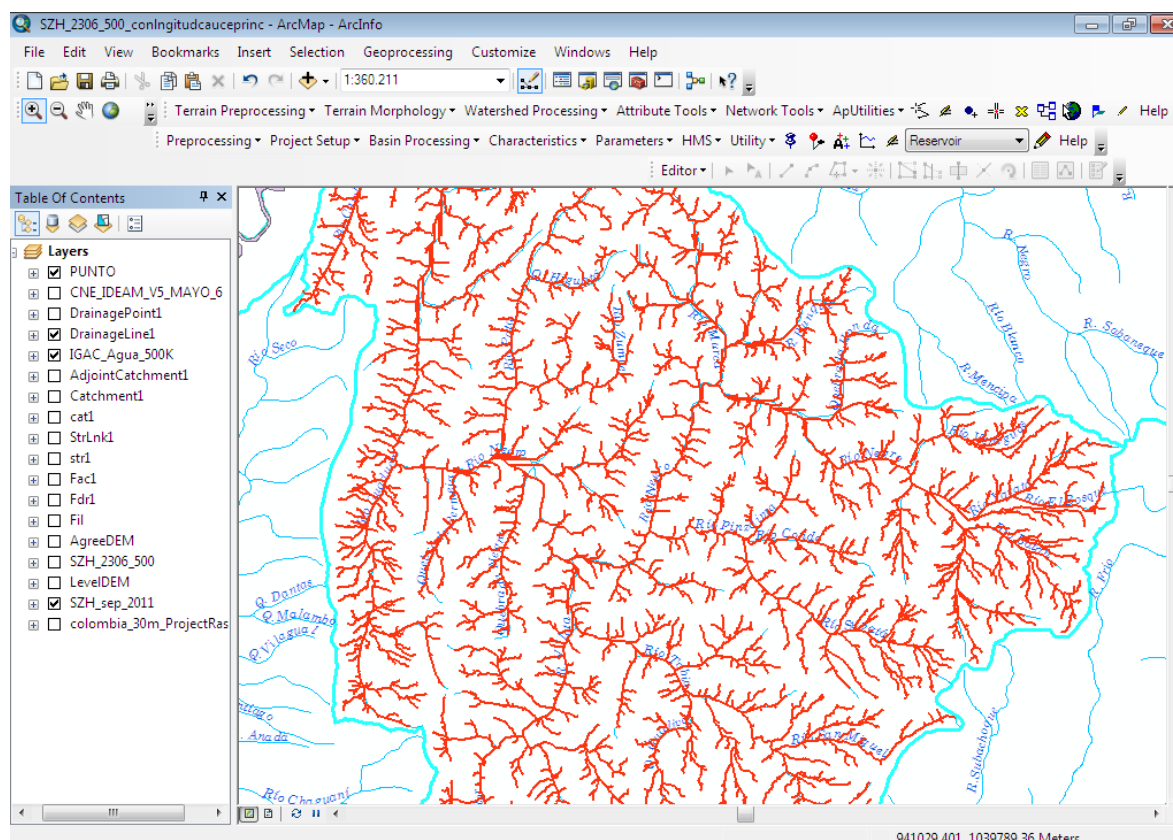




ILUSTRACIÓN 7. Zoom de la SZH 2306. Líneas azules: cartografía. Líneas rojas: modelo

ArcGIS



De igual manera se trabaja con la cuenca que se encuentra delimitada hasta la estación de Colorados, obteniendo los números de Horton de la misma.

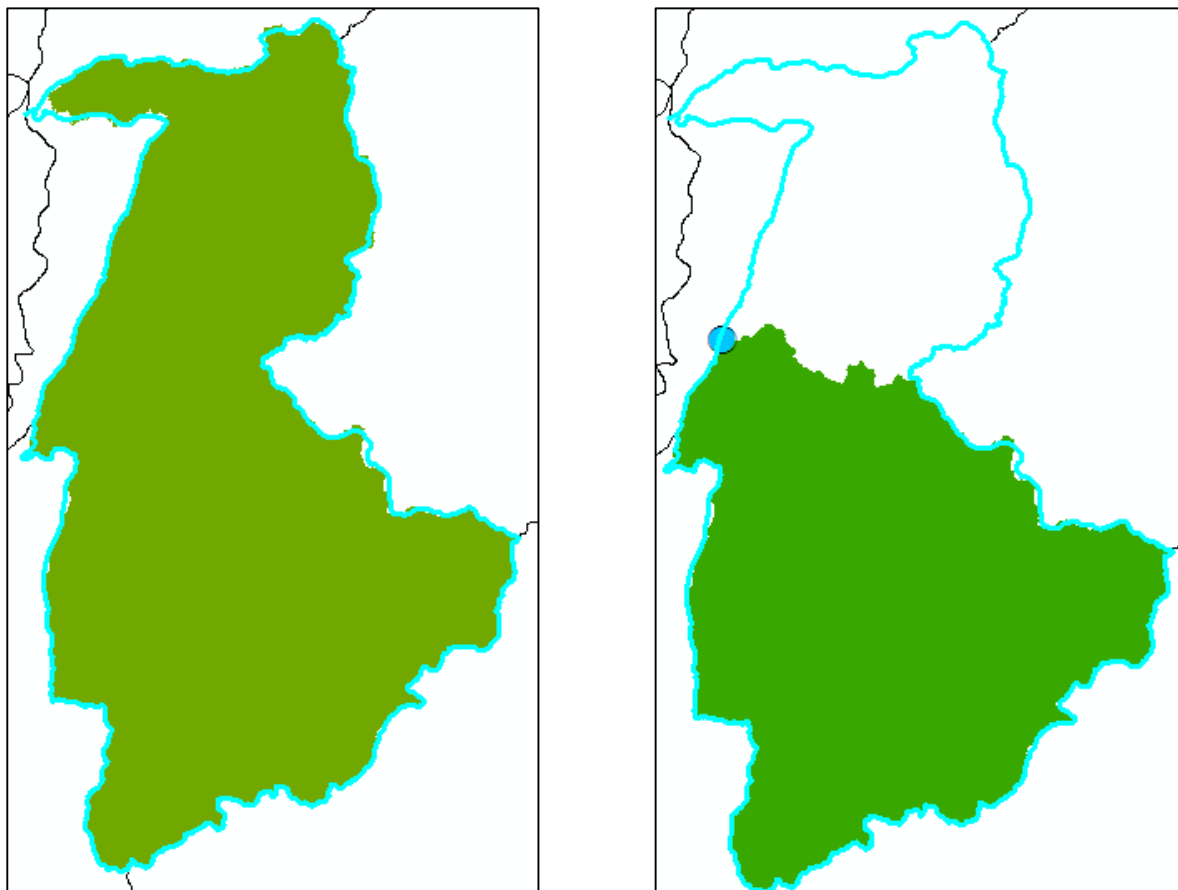
12.2 DELIMITACIÓN PRECISA DE LA CUENCA DEL RÍO NEGRO

Para delimitar la cuenca, teniendo en cuenta que es una figura irregular, se debe seguir un procedimiento en ARCGIS, el cual se basa en definir el punto de drenaje de la cuenca y a partir de ella se hará la delimitación, en este caso se ubicará cerca de la estación Puerto Libre y se el mismo procedimiento se aplicará hasta la estación Colorados. El proceso ya ha sido definido en un video-tutorial (Gutiérrez, 2013).



Las cuencas delimitadas son las siguientes:

ILUSTRACIÓN 8. Delimitación de la figura irregular de la cuenca del Río Negro delimitada desde la estación Puerto Libre y Colorados



A partir de la delimitación de las cuencas se obtuvieron los parámetros básicos de las mismas: Área, Perímetro y Elevaciones, los cuales se muestran a continuación.



TABLA 7. Parámetros básicos de la cuenca del Río Negro

| Geometría de la cuenca de Rio Negro - Punto de drenaje estación Puerto Libre | |
|---|-------------|
| Área (km ²) | 4781,475582 |
| Perímetro (km) | 476,060829 |
| Centroide X (km) | 963,631123 |
| Centroide Y (km) | 1079,524536 |
| Elevación mín | 135 |
| Elevación máx | 3753,507813 |
| Media | 1156,275979 |
| Desviación estandar | 669,384858 |

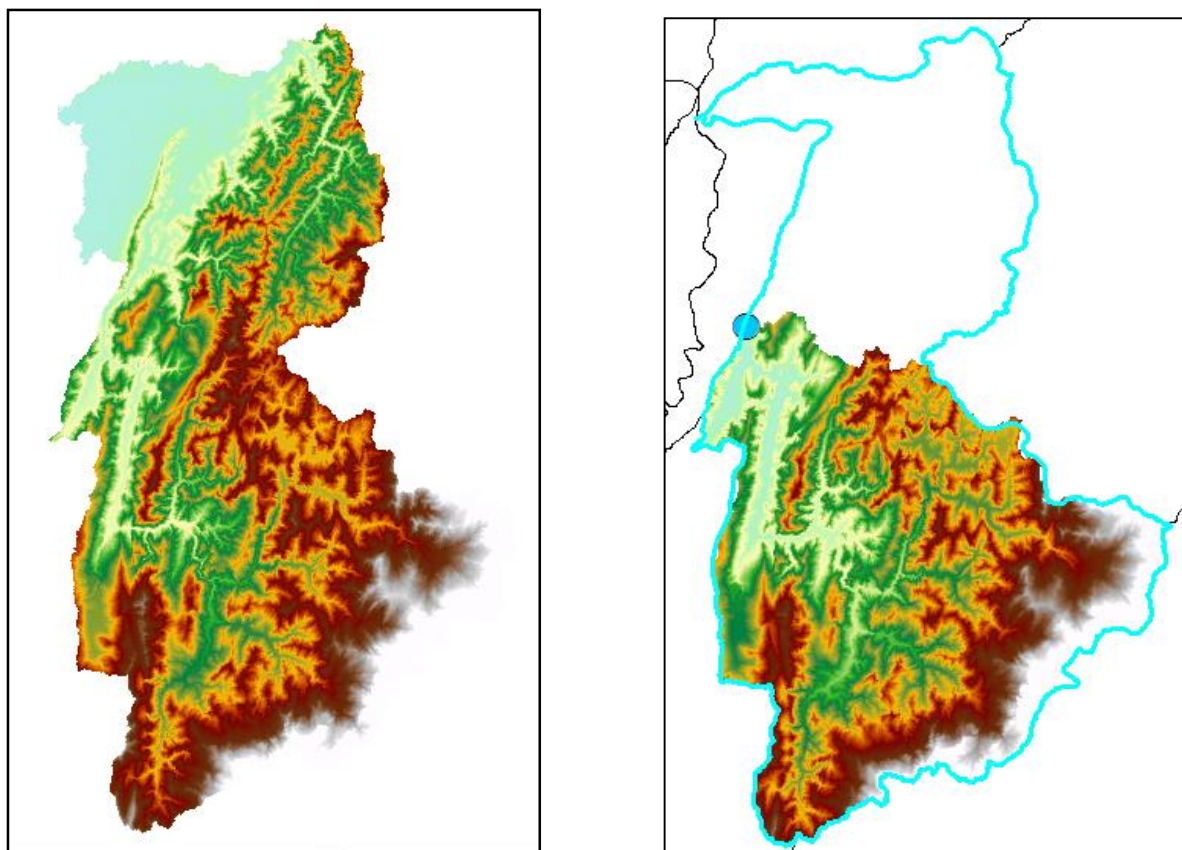
| Geometría de la cuenca de Rio Negro - Punto de drenaje estación Colorados | |
|--|-------------|
| Área (km ²) | 3110,551383 |
| Perímetro (km) | 409,351458 |
| Centroide X (km) | 967,091211 |
| Centroide Y (km) | 1060,221633 |

Se obtuvo la Longitud del cauce principal de la cuenca: 198,7 km para punto de drenaje en la estación Puerto Libre y 129,5 km hasta la estación Colorados, la cual indica la distancia desde el punto más alejado de la cuenca hacia aguas abajo.

Teniendo estos parámetros es importante cortar el DEM de la cuenca también en su forma irregular, este corte se debe realizar a partir del DEM corregido que sale de la operación que se nombra en el tutorial como **Terrean preprocessing- DEM Manipulation- FillSink**



ILUSTRACIÓN 9. DEM de la Cuenca del Río Negro (Fil)



Siguiendo el procedimiento para la Cuenca (Gutiérrez, 2013), obteniendo inicialmente los siguientes valores:

TABLA 8. Área entre curvas de nivel

| AREA ENTRE CURVAS DE NIVEL | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------|------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|---------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| VALUE | COUNT | AREA (m ²) | AREA DEM (m ²) | MIN | MAX | RANGE | MEAN | STD | SUM |
| 1 | 90 | 86,345 | 86,345 | 135 | 135 | 0 | 135 | 0 | 12,150 |
| 2 | 829,411 | 795,723,900 | 795,723,919 | 136 | 500 | 364 | 272 | 109 | 225,586,610 |
| 3 | 1,260,592 | 1,209,392,300 | 1,209,392,216 | 500 | 1,000 | 500 | 780 | 140 | 982,814,020 |
| 4 | 1,673,170 | 1,605,213,100 | 1,605,213,085 | 1,000 | 1,500 | 500 | 1,242 | 138 | 2,078,699,600 |
| 5 | 680,238 | 652,609,660 | 652,609,680 | 1,500 | 2,000 | 500 | 1,700 | 141 | 1,156,181,200 |
| 6 | 285,427 | 273,834,210 | 273,834,192 | 2,000 | 2,500 | 500 | 2,224 | 140 | 634,805,820 |
| 7 | 169,007 | 162,142,670 | 162,142,668 | 2,500 | 3,000 | 500 | 2,732 | 139 | 461,768,770 |
| 8 | 78,658 | 75,463,256 | 75,463,253 | 3,000 | 3,500 | 500 | 3,208 | 135 | 252,352,700 |
| 9 | 7,305 | 7,008,303 | 7,008,303 | 3,500 | 3,782 | 282 | 3,592 | 69 | 26,242,302 |
| TOTAL | | 4,781,473,743.09 | 4,781,473,660.71 | | | | | | |
| TOTAL (km²) | | 4,781.47 | 4,781.47 | | | | | | |



Se realiza una comparación entre al área que arroja el procedimiento en ArcGIS que se encuentra en la columna 3 (Ver tabla 8) y la calculada con el contador de número de celdas de 30x30 m que tiene el DEM 30, con el cual se ha realizado todo el proyecto, es importante tener en cuenta que cada celda de este DEM mide exactamente 30.9739299x30.9739299 m, valor que se debe multiplicar por el contador de celdas que aparece en la columna 2 y así obtener el área que aparece en la columna 4.

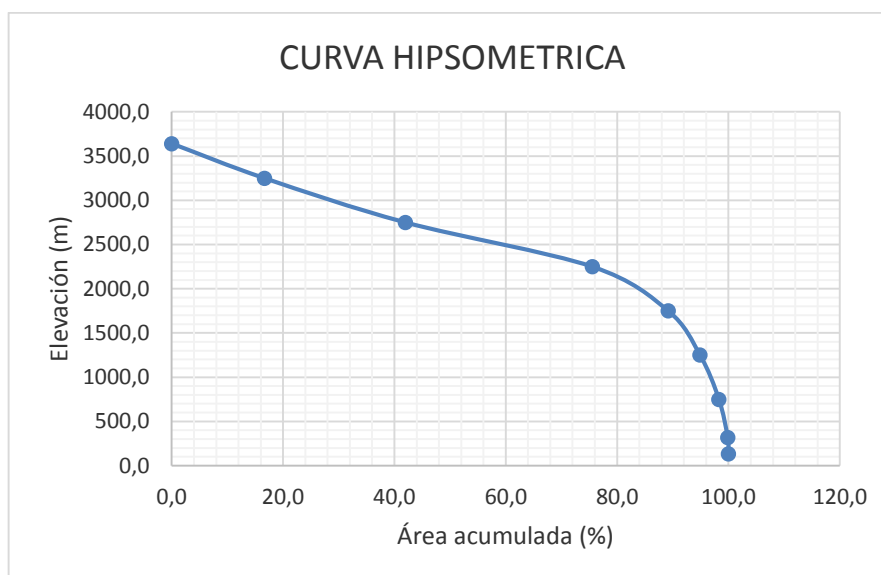
A continuación partiendo de estas áreas entre curvas de nivel, se elabora la curva hipsométrica de la cuenca del Río Negro.

TABLA 9. Curva Hipsométrica

| Elevacion Media y Curva Hipsometrica | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Elevacion | Elevacion promedio, hi(m) | Area (Km ²) | Area Acumulada (Km ²) | Porcentaje de Area (%) | Porcentaje Acumulado de Area (%) | Producto Columnas 2 y 3 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 3500-3782 | 3641.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 314.4 |
| 3000-3500 | 3250.0 | 795.7 | 795.8 | 16.6 | 16.6 | 2586103.8 |
| 2500-3000 | 2750.0 | 1209.4 | 2005.2 | 25.3 | 41.9 | 3325831.8 |
| 2000-2500 | 2250.0 | 1605.2 | 3610.4 | 33.6 | 75.5 | 3611731.8 |
| 1500-2000 | 1750.0 | 652.6 | 4263.0 | 13.6 | 89.2 | 1142067.8 |
| 1000-1500 | 1250.0 | 273.8 | 4536.9 | 5.7 | 94.9 | 342293.1 |
| 500-1000 | 750.0 | 162.1 | 4699.0 | 3.4 | 98.3 | 121607.5 |
| 136-500 | 318.0 | 75.5 | 4774.5 | 1.6 | 99.9 | 23997.3 |
| 135-135 | 135.0 | 7.0 | 4781.4 | 0.1 | 100.0 | 946.1 |
| | Σ Area (Km²) | 4781.5 | | | | 11153947.6 |
| | | Emedia(m)= | 2332.7 | | | |



ILUSTRACIÓN 10. Curva Hipsométrica



12.3 NÚMEROS DE HORTON EN LA CUENCA DEL RÍO NEGRO

Para calcular los números de Horton, se recurrió a una programación realizada por el Ing. Miguel Ángel Vanegas en MatLab, para ello fue necesario seguir inicialmente una metodología que se consolida después de muchos ensayos en ArcGIS en la cual se exportan 3 tablas en un archivo de Excel, tal como lo muestra la ILUSTRACIÓN 11; finalmente ese archivo de Excel es la entrada para que el programa desarrollado en MatLab resuelva los parámetros para calcular los números de Horton, así, después de correr varias veces este programa se obtienen las siguientes tablas:



TABLA 10. Parámetros para calcular Horton. Cuenca Río Negro (Número de Celdas=500)

| ORDEN | NUMERO | LONGITUD (KM) | AREA (KM ²) | L PROMEDIO | A PROMEDIO |
|-------|--------|---------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 2.662 | 2.352 | 2.822 | 0,88 | 1,06 |
| 2 | 636 | 1.104 | 2.750 | 1,74 | 4,32 |
| 3 | 137 | 537 | 2.606 | 3,92 | 19,02 |
| 4 | 35 | 268 | 2.605 | 7,66 | 74,42 |
| 5 | 9 | 181 | 3.143 | 20,15 | 349,23 |
| 6 | 2 | 34 | 2.052 | 16,93 | 1.026,23 |
| 7 | 1 | 128 | 4.557 | 128,40 | 4.557,35 |

TABLA 11. Parámetros para calcular Horton. Cuenca Río Negro (Número de Celdas=1000)

| ORDEN | NUMERO | LONGITUD (KM) | AREA (KM ²) | L PROMEDIO | A PROMEDIO |
|-------|--------|---------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 1.331 | 1.667 | 2.892 | 1,25 | 2,17 |
| 2 | 303 | 763 | 2.684 | 2,52 | 8,86 |
| 3 | 64 | 381 | 2.614 | 5,95 | 40,85 |
| 4 | 18 | 150 | 2.482 | 8,31 | 137,87 |
| 5 | 5 | 137 | 2.682 | 27,49 | 536,39 |
| 6 | 1 | 153 | 4.557 | 153,08 | 4.557,35 |

TABLA 12. Parámetros para calcular Horton. Cuenca Río Negro (Número de Celdas=2000)

| ORDEN | NUMERO | LONGITUD (KM) | AREA (KM ²) | L PROMEDIO | A PROMEDIO |
|-------|--------|---------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 679 | 1.162 | 2.868 | 1,71 | 4,22 |
| 2 | 143 | 544 | 2.592 | 3,80 | 18,13 |
| 3 | 36 | 266 | 2.620 | 7,39 | 72,78 |
| 4 | 9 | 187 | 3.143 | 20,75 | 349,23 |
| 5 | 2 | 34 | 2.052 | 16,93 | 1.026,23 |
| 6 | 1 | 128 | 4.557 | 128,40 | 4.557,35 |

TABLA 13. Parámetros para calcular Horton. Cuenca Río Negro (Número de Celdas=5000)

| ORDEN | NUMERO | LONGITUD (KM) | AREA (KM ²) | L PROMEDIO | A PROMEDIO |
|-------|--------|---------------|-------------------------|------------|------------|
| 1 | 263 | 710 | 2.776 | 2,70 | 10,56 |
| 2 | 58 | 348 | 2.644 | 5,99 | 45,58 |
| 3 | 13 | 182 | 2.824 | 14,00 | 217,26 |
| 4 | 4 | 100 | 2.760 | 25,12 | 690,04 |
| 5 | 1 | 138 | 4.557 | 137,85 | 4.557,35 |



TABLA 14. Parámetros para calcular Horton. Cuenca Río Negro (Número de Celdas=10000)

| ORDEN | NUMERO | LONGITUD (KM) | AREA (KM^2) | L PROMEDIO | A PROMEDIO |
|-------|--------|---------------|-------------|------------|------------|
| 1 | 125 | 583 | 2.731 | 4,66 | 21,85 |
| 2 | 34 | 256 | 2.570 | 7,53 | 75,60 |
| 3 | 8 | 201 | 2.883 | 25,11 | 360,31 |
| 4 | 2 | 32 | 1.925 | 16,02 | 962,44 |
| 5 | 1 | 141 | 4.482 | 140,61 | 4.481,56 |

TABLA 15. Parámetros para calcular Horton. Cuenca hasta Colorados (Número de Celdas=500)

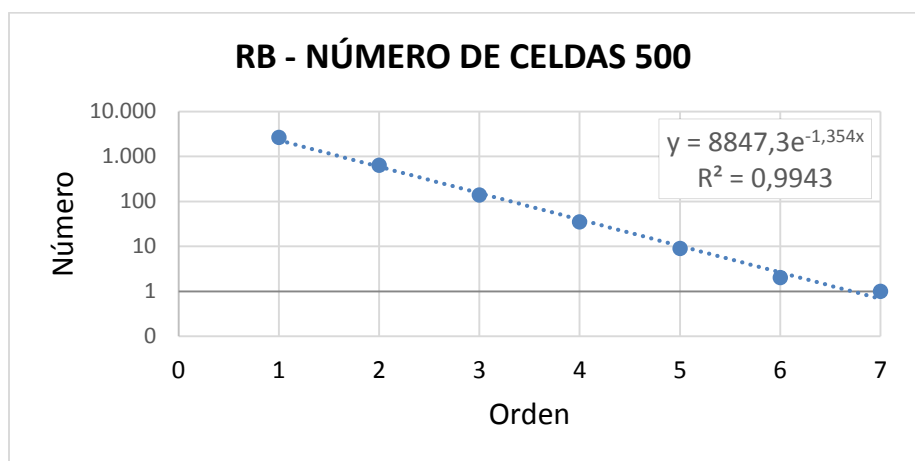
| ORDEN | NUMERO | LONGITUD (KM) | AREA (KM^2) | L PROMEDIO | A PROMEDIO |
|-------|--------|---------------|-------------|------------|------------|
| 1 | 1.834 | 1.647 | 1.819 | 0,90 | 0,99 |
| 2 | 434 | 765 | 1.778 | 1,76 | 4,10 |
| 3 | 95 | 374 | 1.740 | 3,94 | 18,32 |
| 4 | 27 | 182 | 1.825 | 6,74 | 67,59 |
| 5 | 7 | 106 | 1.989 | 15,07 | 284,19 |
| 6 | 2 | 34 | 1.925 | 16,93 | 962,70 |
| 7 | 1 | 59 | 2.923 | 59,19 | 2.923,41 |

12.3.1 LEY DE LONGITUD DE CORRIENTES R_L , ÁREA DE LAS CORRIENTES R_A y NÚMERO DE LAS CORRIENTES R_B

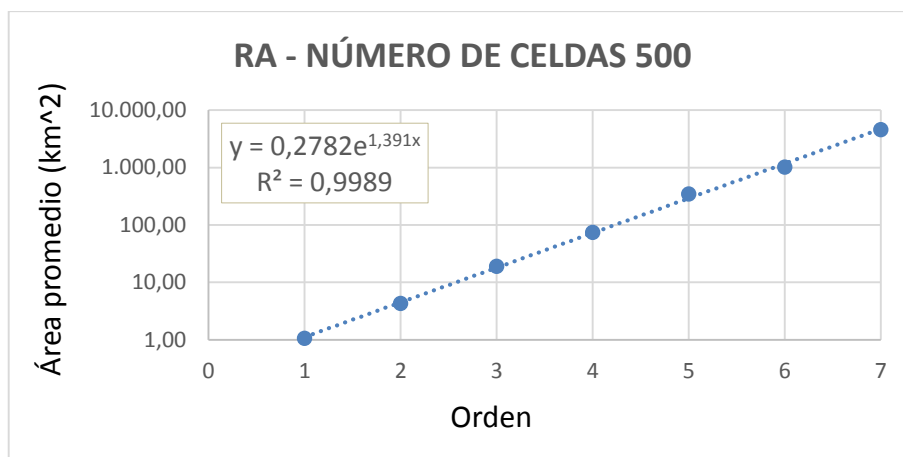
A partir de la información anterior se realizan gráficas para R_L , R_A y R_B en cada número de celdas; es de recordar que el orden se encuentra en cada gráfica en el eje x, y en el eje y el número para R_B , longitud promedio para R_L y área promedio para R_A como se observa en las gráficas a continuación:



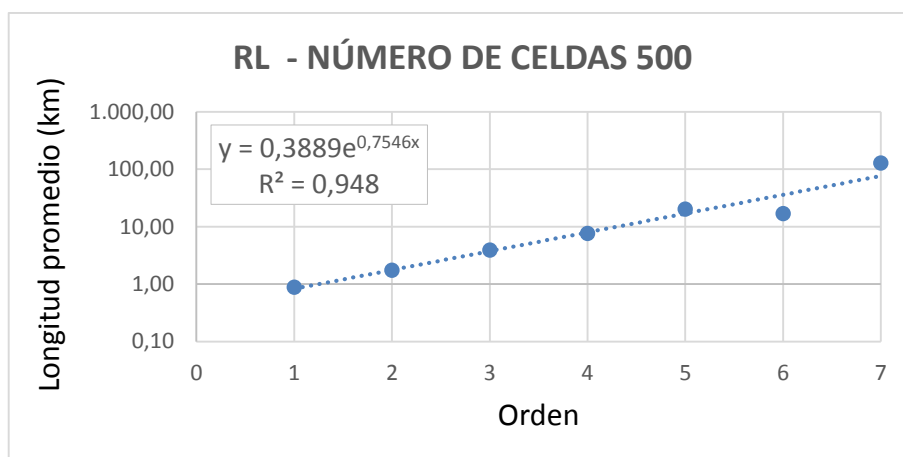
GRÁFICA 1. RB para número de celdas 500



GRÁFICA 2. RA para número de celdas 500

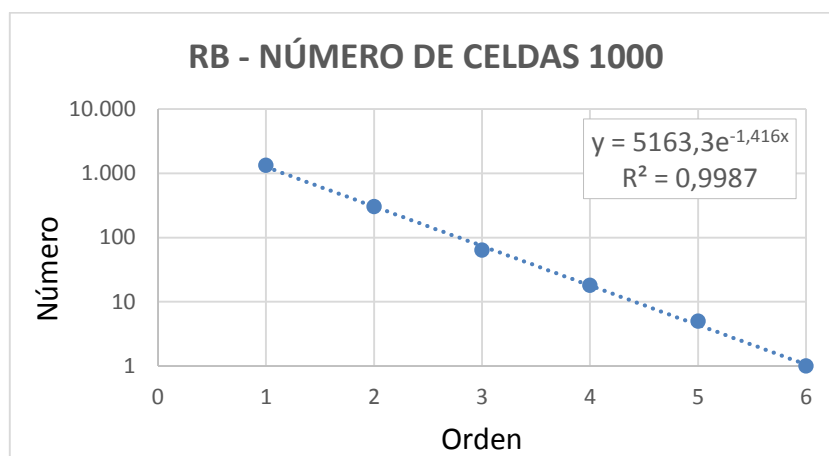


GRÁFICA 3. RL para número de celdas 500

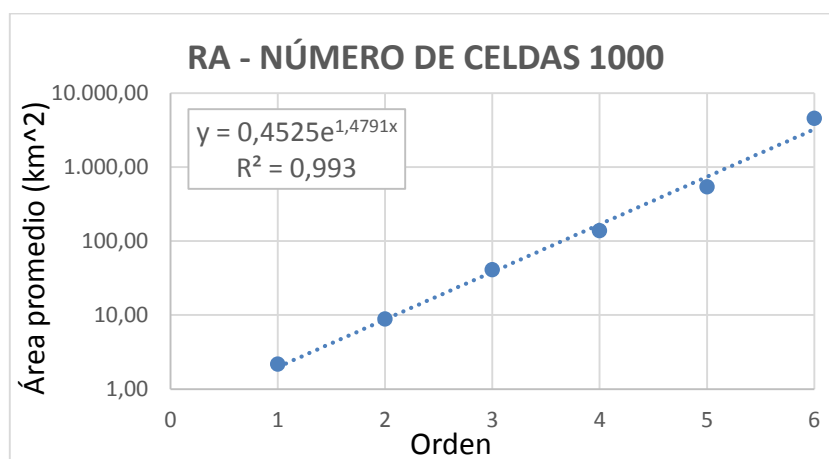




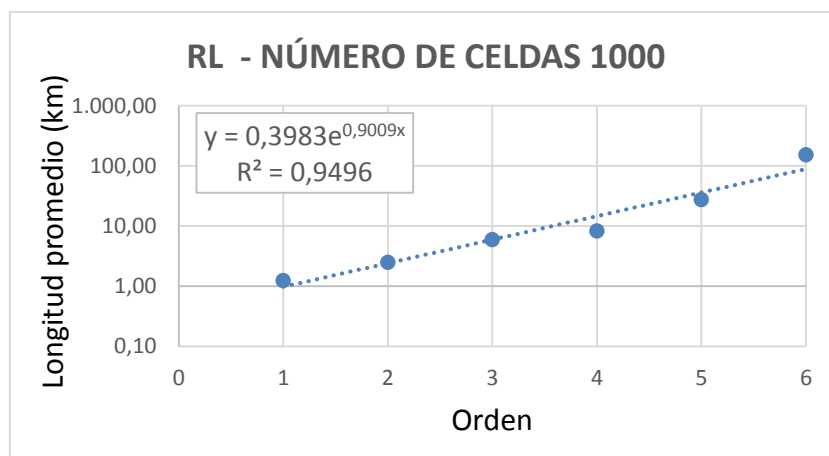
GRÁFICA 4. RB para número de celdas 1000



GRÁFICA 5. RA para número de celdas 1000

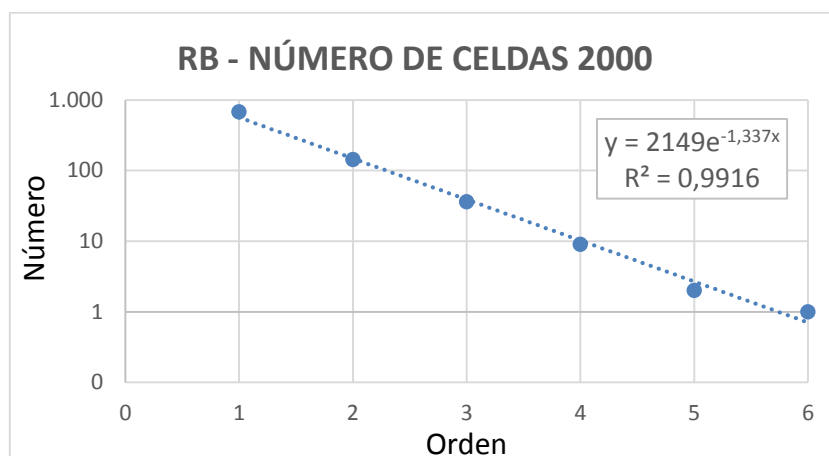


GRÁFICA 6. RL para número de celdas 1000

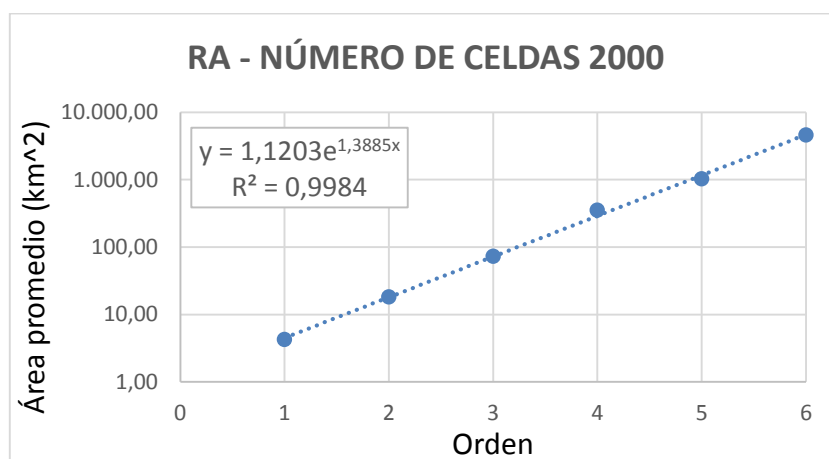




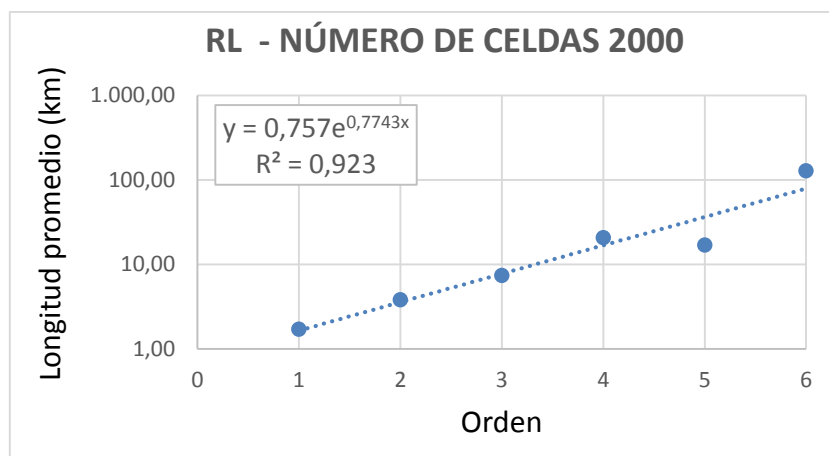
GRÁFICA 7. RB para número de celdas 2000



GRÁFICA 8. RA para número de celdas 2000

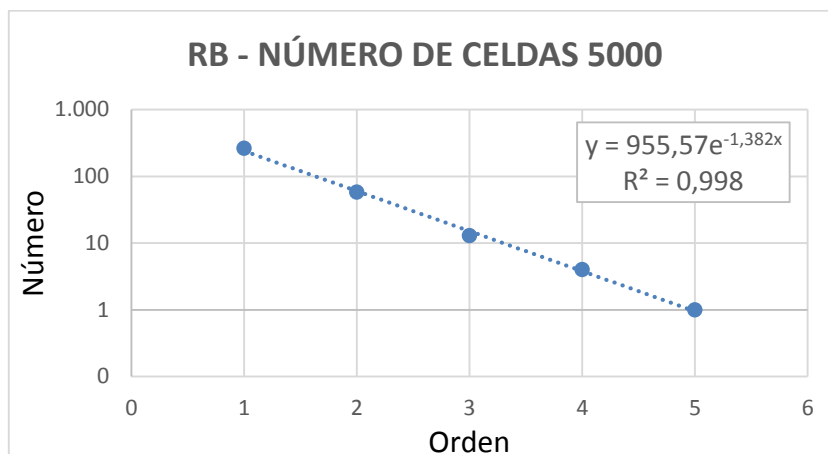


GRÁFICA 9. RL para número de celdas 2000

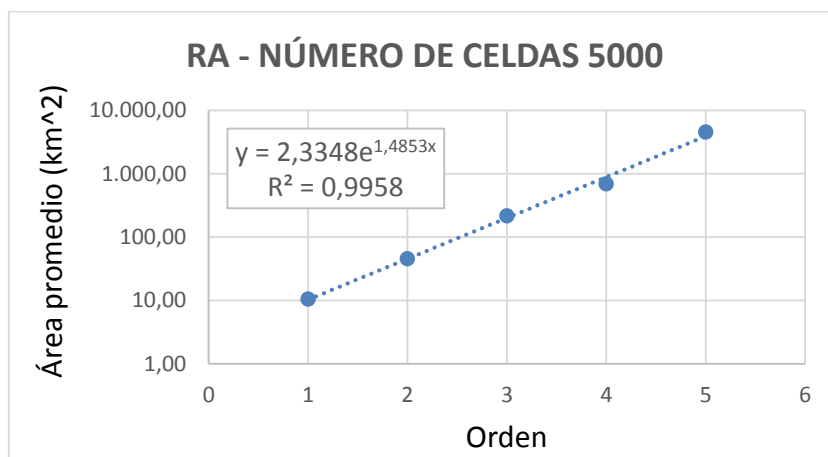




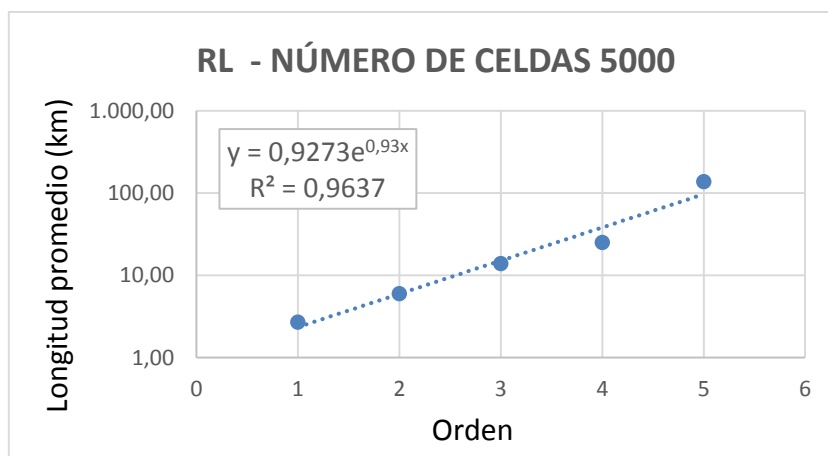
GRÁFICA 10. RB para número de celdas 5000



GRÁFICA 11. RA para número de celdas 5000

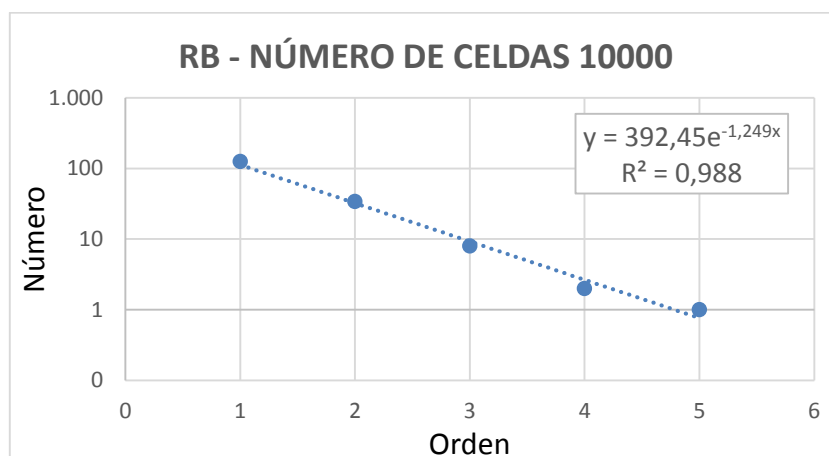


GRÁFICA 12. RL para número de celdas 5000

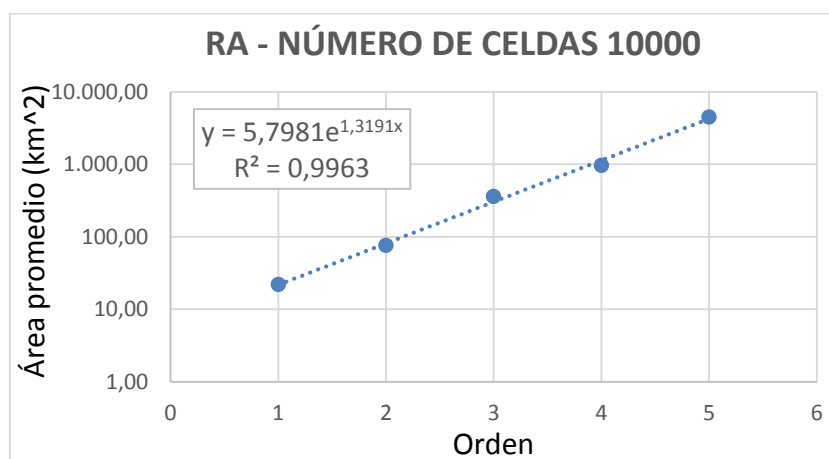




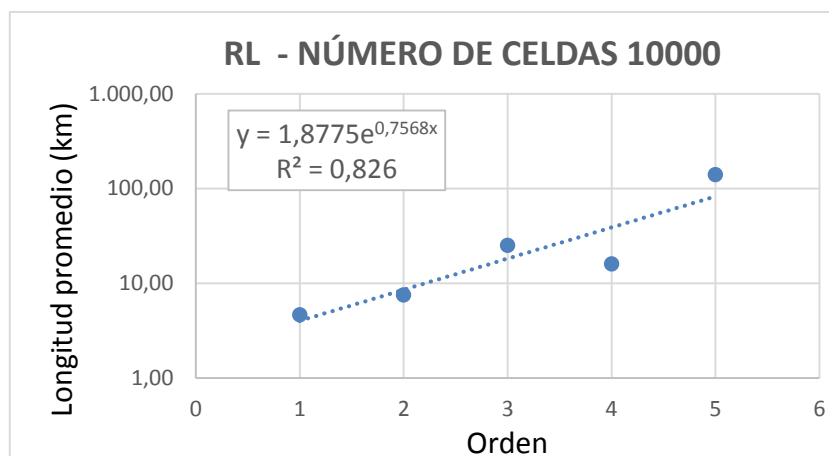
GRÁFICA 13. RB para número de celdas 10000



GRÁFICA 14. RA para número de celdas 10000

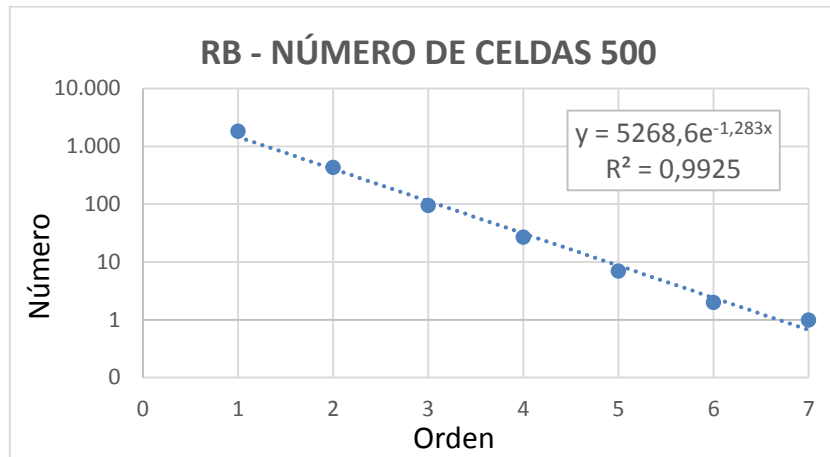


GRÁFICA 15. RL para número de celdas 10000

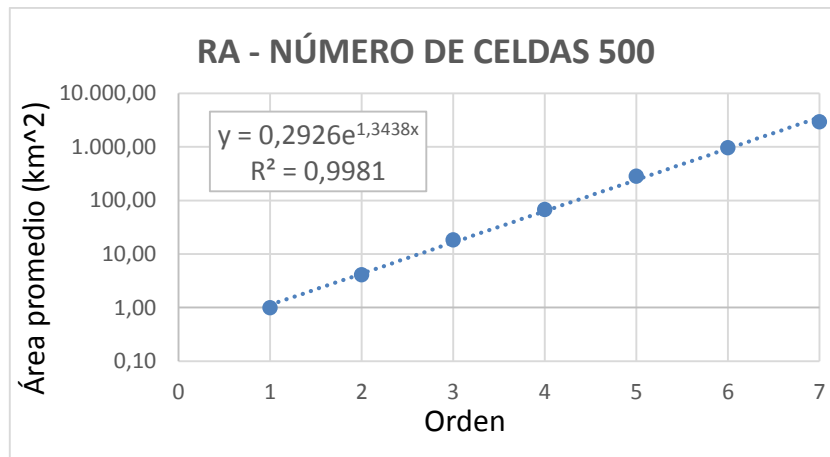




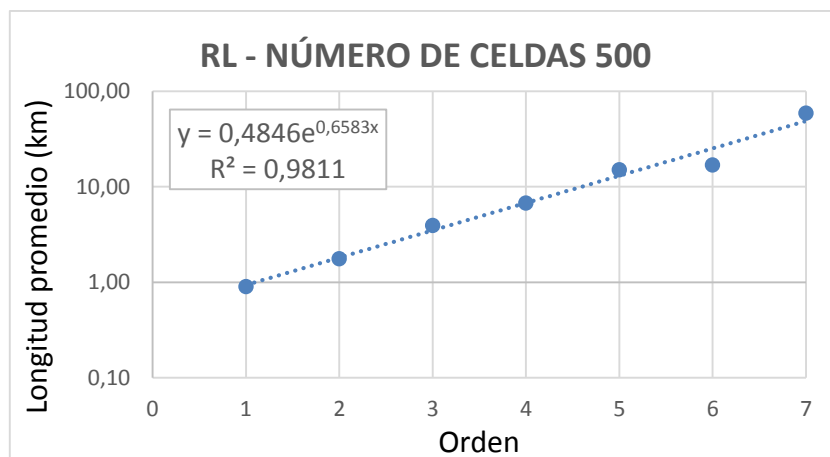
GRÁFICA 16. RB para número de celdas 500 – Punto de drenaje estación Colorados



GRÁFICA 17. RA para número de celdas 500 – Punto de drenaje estación Colorados



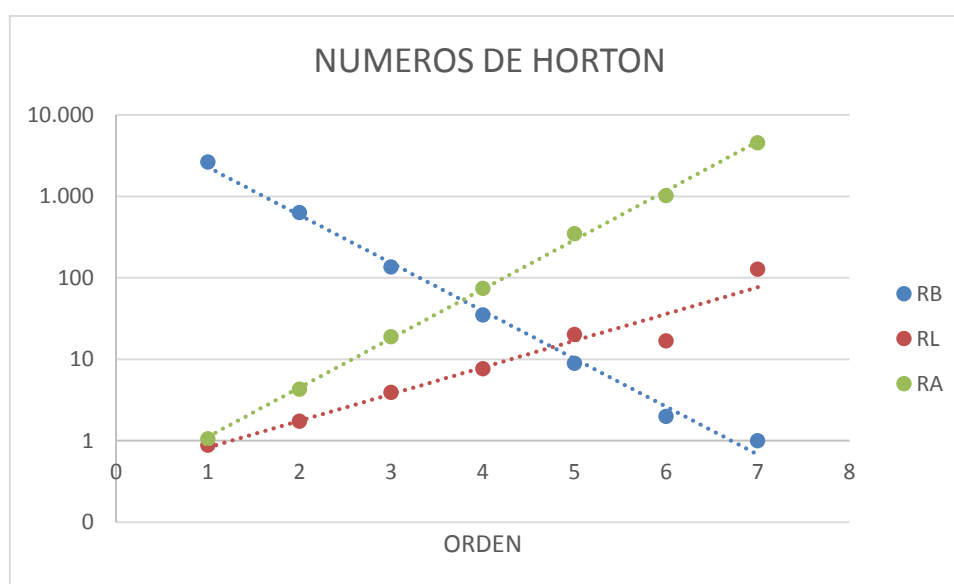
GRÁFICA 18. RL para número de celdas 500 – Punto de drenaje estación Colorados





El tipo de tendencia o regresión que se utiliza es de forma exponencial para estas gráficas, ya que se requiere linealizar la función. La ecuación exponencial se identifica de la forma $E(x) = K * a^x$ donde x en la ecuación de cada grafica se toma y se remplaza en la función $f(x)=e^{bx}$ en el cual e es identificada como el número de Euler (valor aproximado 2.71828...), y b es la pendiente; para calcular los números de Horton se debe sacar el antilogaritmo de esta pendiente, finalmente se obtienen las gráficas que se muestran a continuación y los valores para R_L, R_A y R_B .

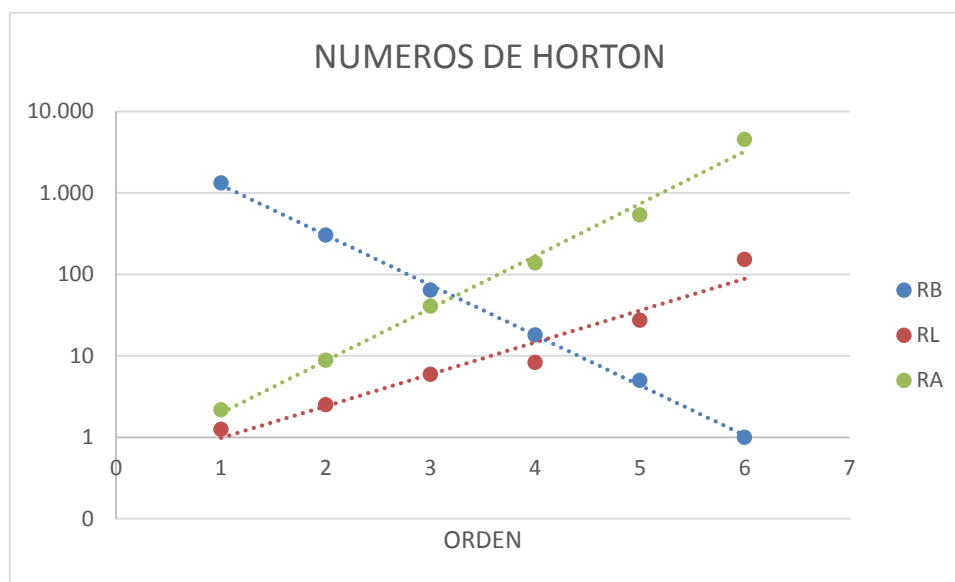
GRÁFICA 19. Números de Horton para 500 celdas



| NUMERO | PENDIENTE | RANGO | RESPUESTA |
|--------|-----------|---------|------------|
| RB | 1.3540 | 3.0-5.0 | 3.87288613 |
| RA | 1.3910 | 3.0-6.0 | 4.01886691 |
| RL | 0.7546 | 1.5-3.5 | 2.12676065 |

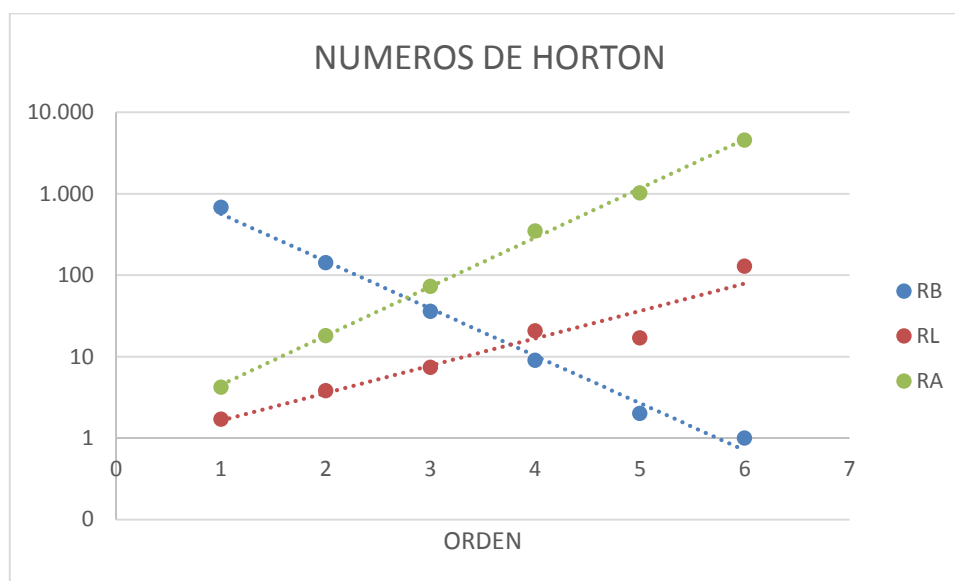


GRÁFICA 20. Números de Horton para 1000 celdas



| NUMERO | PENDIENTE | RANGO | RESPUESTA |
|--------|-----------|---------|------------|
| RB | 1.4160 | 3.0-5.0 | 4.12060501 |
| RA | 1.4791 | 3.0-6.0 | 4.38899381 |
| RL | 0.9009 | 1.5-3.5 | 2.46181775 |

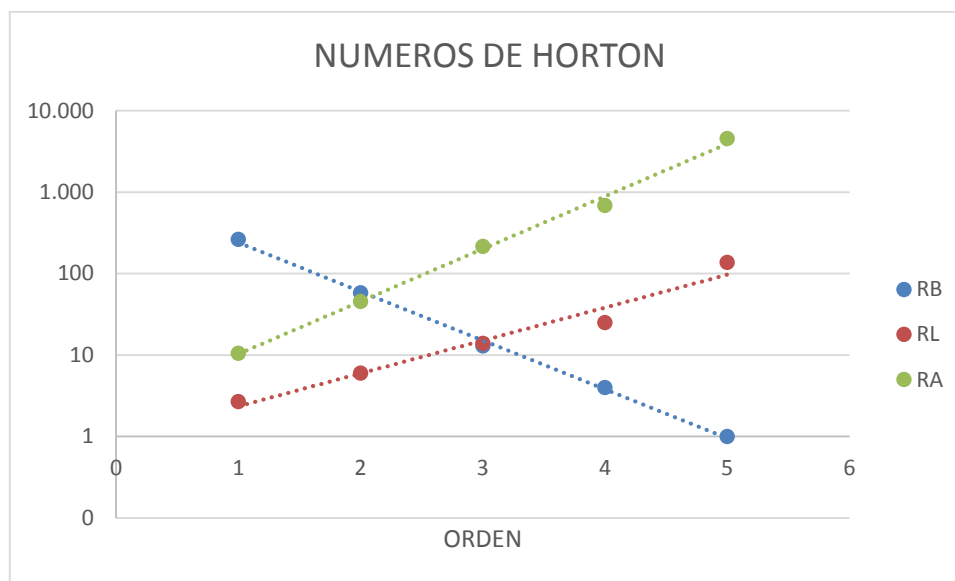
GRÁFICA 21. Números de Horton para 2000 celdas



| NUMERO | PENDIENTE | RANGO | RESPUESTA |
|--------|-----------|---------|------------|
| RB | 1.3370 | 3.0-5.0 | 3.80760354 |
| RA | 1.3885 | 3.0-6.0 | 4.00883229 |
| RL | 0.7743 | 1.5-3.5 | 2.16907324 |

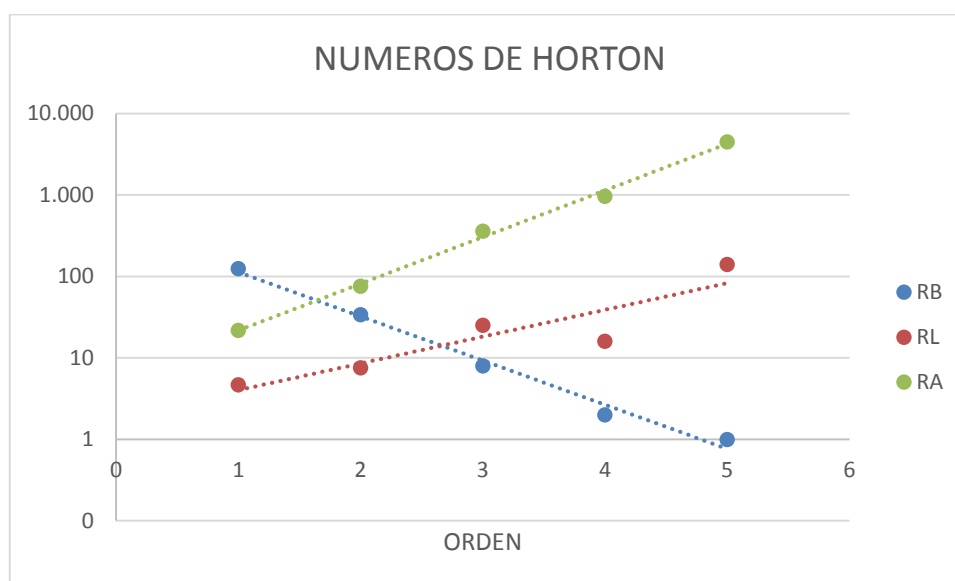


GRÁFICA 22. Números de Horton para 5000 celdas



| NUMERO | PENDIENTE | RANGO | RESPUESTA |
|--------|-----------|---------|------------|
| RB | 1.3820 | 3.0-5.0 | 3.98285939 |
| RA | 1.4853 | 3.0-6.0 | 4.4162901 |
| RL | 0.9300 | 1.5-3.5 | 2.53450918 |

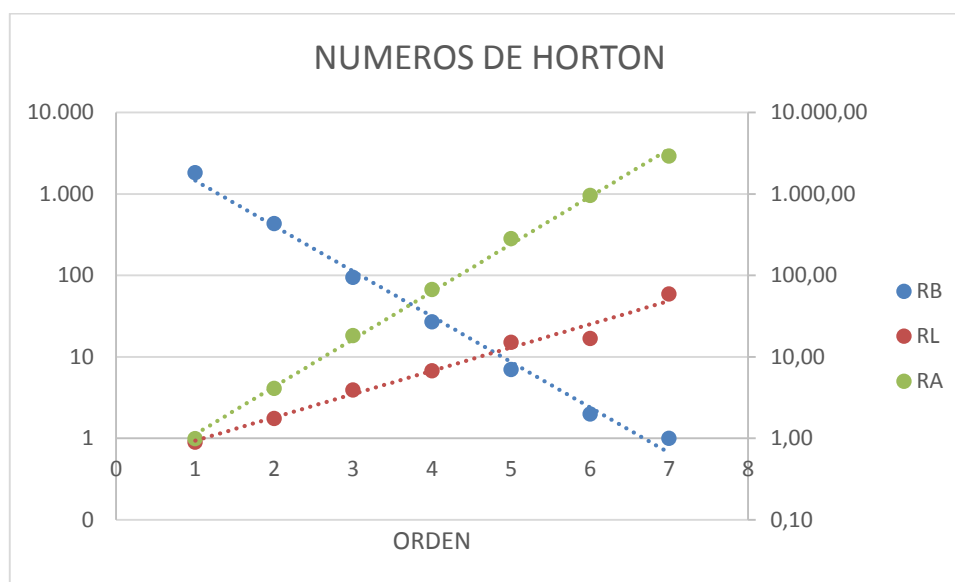
GRÁFICA 23. Números de Horton para 10000 celdas





| NUMERO | PENDIENTE | RANGO | RESPUESTA |
|--------|-----------|---------|------------|
| RB | 1.2490 | 3.0-5.0 | 3.48685436 |
| RA | 1.3191 | 3.0-6.0 | 3.74005381 |
| RL | 0.7568 | 1.5-3.5 | 2.13144467 |

GRÁFICA 24. Números de Horton para 500 celdas – Punto de drenaje estación Colorados



| NUMERO | PENDIENTE | RANGO | RESPUESTA |
|--------|-----------|---------|------------|
| RB | 1.2830 | 3.0-5.0 | 3.60744585 |
| RA | 1.3438 | 3.0-6.0 | 3.83358348 |
| RL | 0.6583 | 1.5-3.5 | 1.93150598 |

Se identifica según las lecturas realizadas que los valores de R_L , R_A y R_B se encuentran dentro de los rangos establecidos. A continuación se muestra el resumen de los valores de los números de Horton para cada número de celdas:

TABLA 16. Valores de R_L , R_A y R_B establecidos para cada número de celdas

| CELDAS | RB | RA | RL |
|----------|-------|--------|--------|
| 500 | 3,873 | 4,0189 | 2,1268 |
| 1000 | 4,121 | 4,389 | 2,4618 |
| 2000 | 3,808 | 4,0088 | 2,1691 |
| 5000 | 3,983 | 4,4163 | 2,5345 |
| 10000 | 3,487 | 3,7401 | 2,1314 |
| Promedio | 3,854 | 4,1146 | 2,2847 |

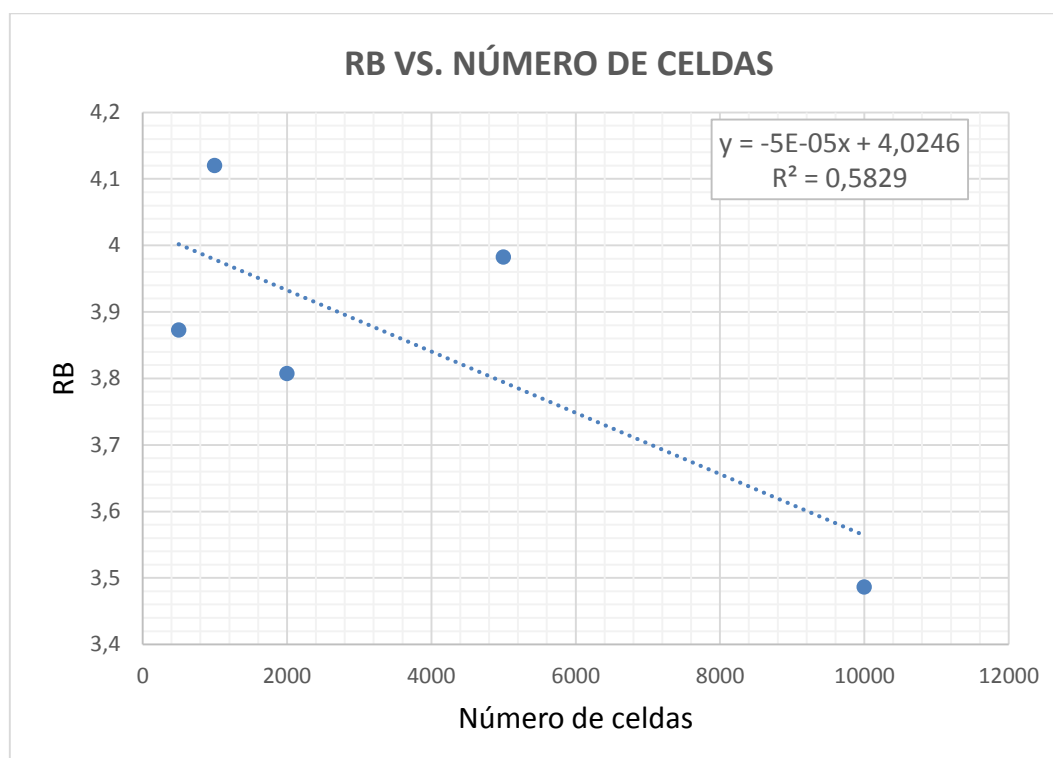


TABLA 17. Valores de R_L , R_A y R_B establecidos para la cuenca con el punto de drenaje en la estación Colorados

| CELDAS | RB | RA | RL |
|--------|-------|--------|--------|
| 500 | 3,607 | 3,8336 | 1,9315 |

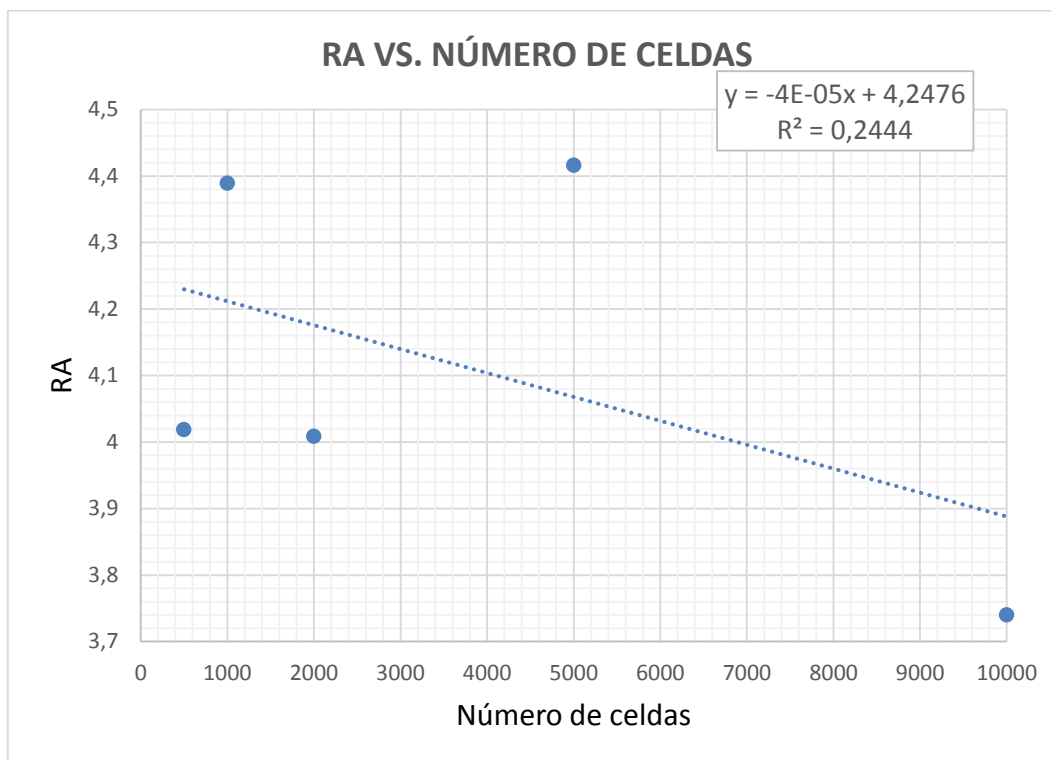
A continuación se mostrara una comparación grafica entre el número de celdas y los valores de los números de Horton de la cuenca del Río Negro obtenidos para cada una de ellas.

GRÁFICA 25. Valores obtenidos de RB para los diferentes números de celdas

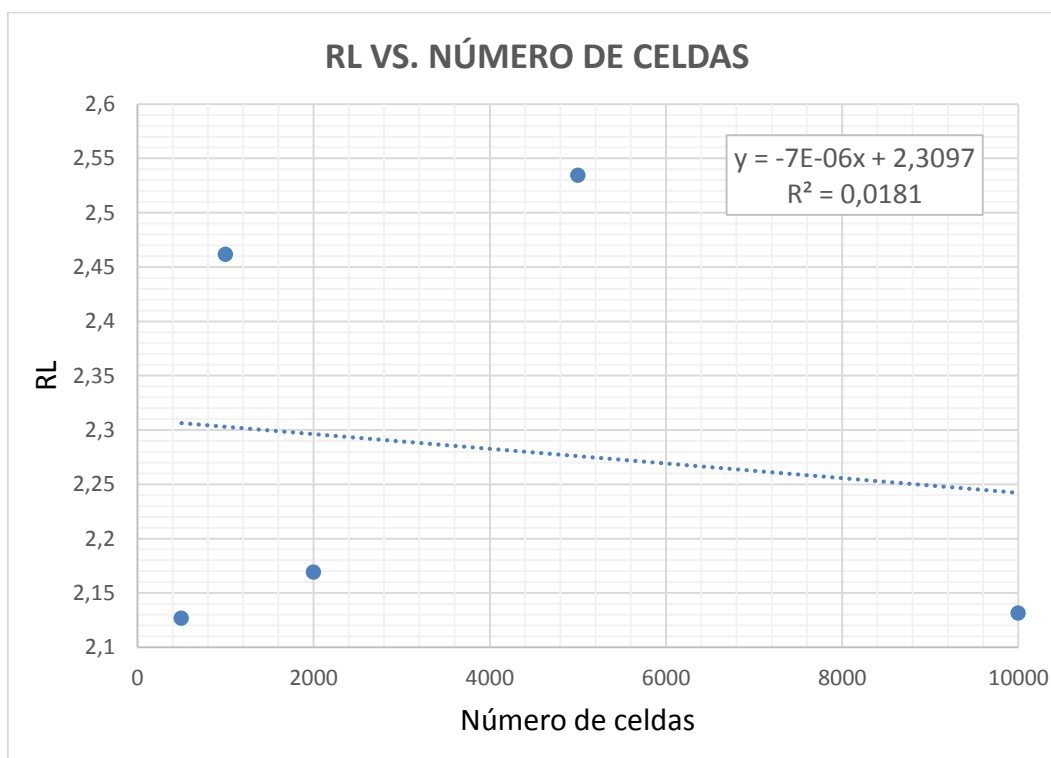




GRÁFICA 26. Valores obtenidos de RB para los diferentes números de celdas



GRÁFICA 27. Valores obtenidos de RB para los diferentes números de celdas





12.4 HIDROGRAMA UNITARIO

Para la elaboración del hidrograma unitario es fundamental contar con suficientes datos de precipitación en una estación, por tanto se debe tener en cuenta la disponibilidad de los mismos, y por ello se ha escogido la estación de Colorados, identificada con el código 23067020, para lo cual es necesario tener los parámetros morfométricos que se definieron en los numerales 12.2 y 12.3 del presente documento; siendo así, el desarrollo del hidrograma comprende varias etapas:

- a. Selección de eventos importantes para el proyecto.
- b. Análisis de la precipitación de dichos eventos.
- c. Calibración para encontrar el v (incógnita del proyecto) óptimo.
- d. Análisis de v .

Para llevar a cabo cada una de las etapas y poder confrontar los resultados obtenidos para el Q_p y T_p es necesario asumir una precipitación uniforme en toda la cuenca, datos que por motivos de accesibilidad, son de la estación Villeta identificada con el código 23067070, que queda ubicada dentro de la cuenca delimitada hasta la estación de Colorados y con datos de Caudal de la estación de Colorados para compararlos con los valores teóricos.

Durante la primera etapa se identificaron 10 eventos desde el año 2006 a 2010 y se obtuvieron los siguientes datos de ellos:



TABLA 18. Datos para evento con fecha 24-03-2006

| Año | Mes | Día | Hora | Minuto | Segundo | Q(m ³ /s) | Hora | Precipitación (mm) |
|------|-----|-----|------|--------|---------|----------------------|------|--------------------|
| 2006 | 3 | 23 | 12 | 0 | 0 | 165 | 0 | 0 |
| 2006 | 3 | 23 | 13 | 0 | 0 | 165 | 1 | 0 |
| 2006 | 3 | 23 | 14 | 0 | 0 | 163.2 | 2 | 0 |
| 2006 | 3 | 23 | 15 | 0 | 0 | 165 | 3 | 0 |
| 2006 | 3 | 23 | 16 | 0 | 0 | 161.4 | 4 | 0 |
| 2006 | 3 | 23 | 17 | 0 | 0 | 159.6 | 5 | 0 |
| 2006 | 3 | 23 | 18 | 0 | 0 | 159.6 | 6 | 0 |
| 2006 | 3 | 23 | 19 | 0 | 0 | 157.8 | 7 | 0.4 |
| 2006 | 3 | 23 | 20 | 0 | 0 | 154.2 | 8 | 1 |
| 2006 | 3 | 23 | 21 | 0 | 0 | 154.2 | 9 | 0.1 |
| 2006 | 3 | 23 | 22 | 0 | 0 | 161.4 | 10 | 0.3 |
| 2006 | 3 | 23 | 23 | 0 | 0 | 195.45 | 11 | 0.2 |
| 2006 | 3 | 24 | 0 | 0 | 0 | 217.1 | 12 | 3.8 |
| 2006 | 3 | 24 | 1 | 0 | 0 | 309.5 | 13 | 1.9 |
| 2006 | 3 | 24 | 2 | 0 | 0 | 360.1 | 14 | 1.1 |
| 2006 | 3 | 24 | 3 | 0 | 0 | 341.7 | 15 | 0.3 |
| 2006 | 3 | 24 | 4 | 0 | 0 | 327.9 | 16 | 0.1 |
| 2006 | 3 | 24 | 5 | 0 | 0 | 350.9 | 17 | 0.2 |
| 2006 | 3 | 24 | 6 | 0 | 0 | 353.2 | 18 | 0.2 |
| 2006 | 3 | 24 | 7 | 0 | 0 | 353.2 | 19 | 0.5 |
| 2006 | 3 | 24 | 8 | 0 | 0 | 357.8 | 20 | 0.2 |
| 2006 | 3 | 24 | 9 | 0 | 0 | 339.4 | 21 | 0.2 |
| 2006 | 3 | 24 | 10 | 0 | 0 | 316.4 | 22 | 0 |
| 2006 | 3 | 24 | 11 | 0 | 0 | 291.4 | 23 | 0 |

GRAFICA 28. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 24-03-2006

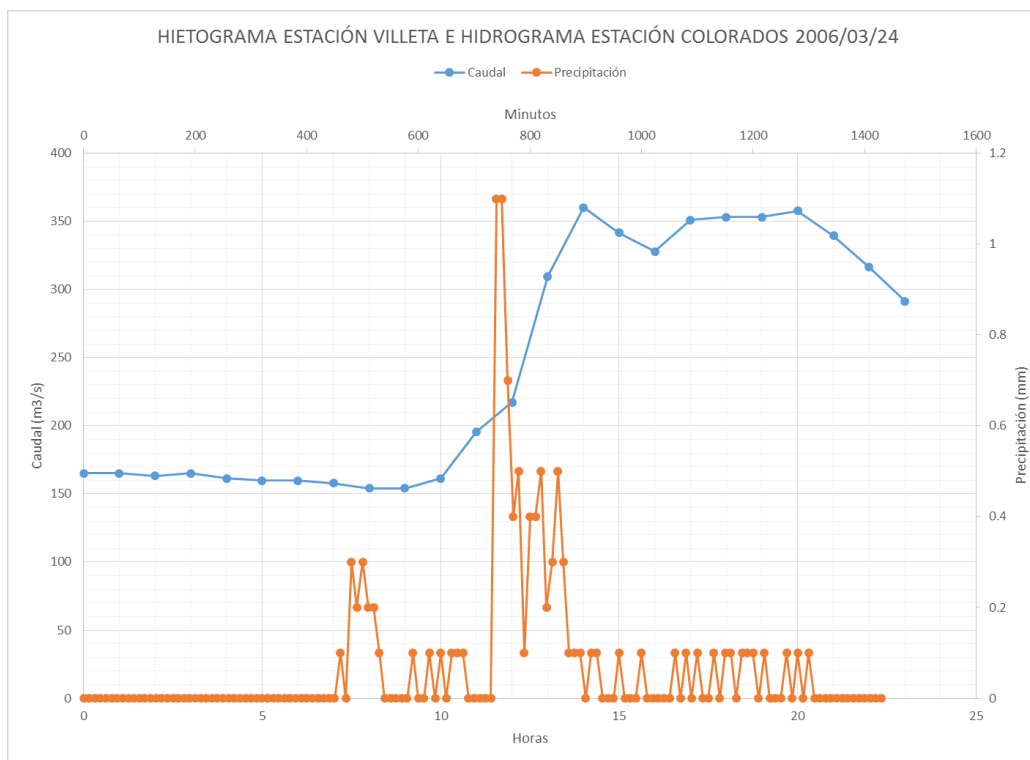




TABLA 19. Datos para evento con fecha 25-03-2006

| Año | Mes | Día | Hora | Minuto | Segundo | Q(m ³ /s) | Hora | Precipitación (mm) |
|------|-----|-----|------|--------|---------|----------------------|------|--------------------|
| 2006 | 3 | 25 | 1 | 0 | 0 | 213 | 0 | 0 |
| 2006 | 3 | 25 | 2 | 0 | 0 | 213 | 1 | 0 |
| 2006 | 3 | 25 | 3 | 0 | 0 | 205.2 | 2 | 26.7 |
| 2006 | 3 | 25 | 4 | 0 | 0 | 201.3 | 3 | 7.3 |
| 2006 | 3 | 25 | 5 | 0 | 0 | 205.2 | 4 | 1.8 |
| 2006 | 3 | 25 | 6 | 0 | 0 | 318.7 | 5 | 1.5 |
| 2006 | 3 | 25 | 7 | 0 | 0 | 400.4 | 6 | 0.4 |
| 2006 | 3 | 25 | 8 | 0 | 0 | 410.8 | 7 | 0.1 |
| 2006 | 3 | 25 | 9 | 0 | 0 | 447.2 | 8 | 0.1 |
| 2006 | 3 | 25 | 10 | 0 | 0 | 552.8 | 9 | 0.5 |
| 2006 | 3 | 25 | 11 | 0 | 0 | 532.22 | 10 | 0 |
| 2006 | 3 | 25 | 12 | 0 | 0 | 478.4 | 11 | 0 |
| 2006 | 3 | 25 | 13 | 0 | 0 | 423.8 | 12 | 0 |
| 2006 | 3 | 25 | 14 | 0 | 0 | 380.8 | 13 | 0 |
| 2006 | 3 | 25 | 15 | 0 | 0 | 334.8 | 14 | 0 |
| 2006 | 3 | 25 | 16 | 0 | 0 | 318.7 | 15 | 0 |
| 2006 | 3 | 25 | 17 | 0 | 0 | 307.2 | 16 | 0 |
| 2006 | 3 | 25 | 18 | 0 | 0 | 295.8 | 17 | 0 |
| 2006 | 3 | 25 | 19 | 0 | 0 | 269.4 | 18 | 0 |
| 2006 | 3 | 25 | 20 | 0 | 0 | 256.2 | 19 | 0 |
| 2006 | 3 | 25 | 21 | 0 | 0 | 247.85 | 20 | 0 |
| 2006 | 3 | 25 | 22 | 0 | 0 | 241.7 | 21 | 0.2 |
| 2006 | 3 | 25 | 23 | 0 | 0 | 235.55 | 22 | 0 |
| 2006 | 3 | 26 | 0 | 0 | 0 | 237.6 | 23 | 0 |

GRAFICA 29. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 25-03-2006

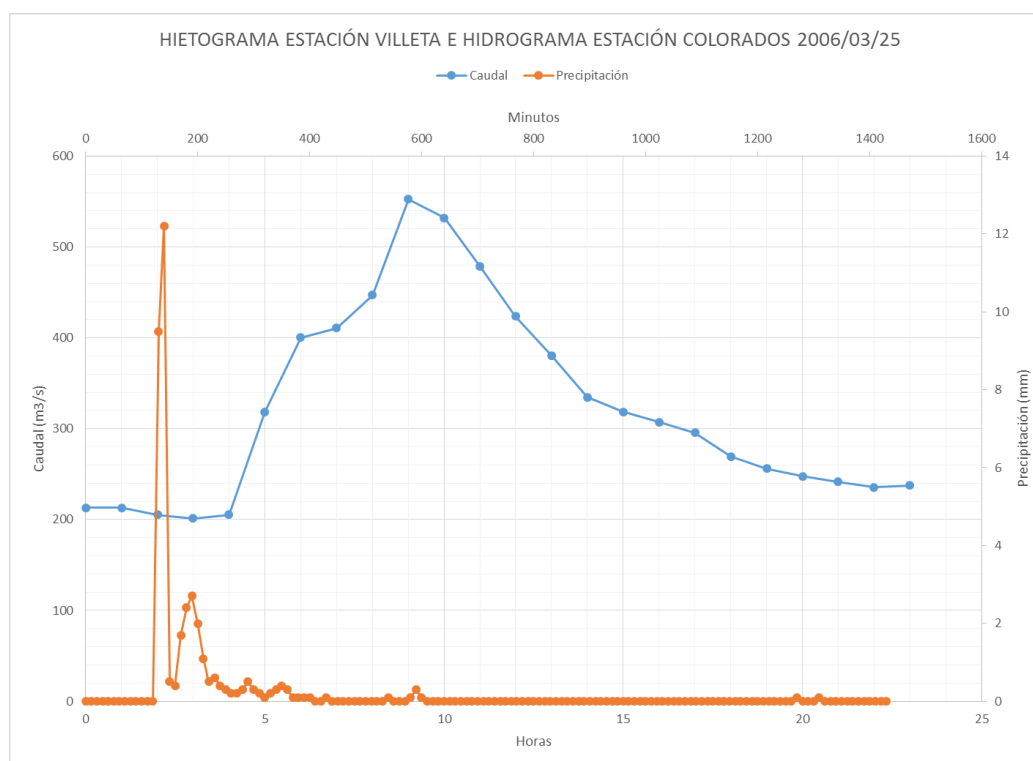




TABLA 20. Datos para evento con fecha 04-04-2006

| Año | Mes | Día | Hora | Minuto | Segundo | Q(m ³ /s) | Hora | Precipitación (mm) |
|------|-----|-----|------|--------|---------|----------------------|------|--------------------|
| 2006 | 4 | 4 | 20 | 0 | 0 | 179.85 | 0 | 0 |
| 2006 | 4 | 4 | 21 | 0 | 0 | 191.55 | 1 | 0 |
| 2006 | 4 | 4 | 22 | 0 | 0 | 187.65 | 2 | 1.4 |
| 2006 | 4 | 4 | 23 | 0 | 0 | 211.05 | 3 | 26.1 |
| 2006 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 | 249.9 | 4 | 3.5 |
| 2006 | 4 | 5 | 1 | 0 | 0 | 247.85 | 5 | 4.8 |
| 2006 | 4 | 5 | 2 | 0 | 0 | 243.75 | 6 | 1.7 |
| 2006 | 4 | 5 | 3 | 0 | 0 | 316.4 | 7 | 0.9 |
| 2006 | 4 | 5 | 4 | 0 | 0 | 632.18 | 8 | 1.1 |
| 2006 | 4 | 5 | 5 | 0 | 0 | 785.06 | 9 | 0 |
| 2006 | 4 | 5 | 6 | 0 | 0 | 773.3 | 10 | 0.1 |
| 2006 | 4 | 5 | 7 | 0 | 0 | 664.52 | 11 | 0.2 |
| 2006 | 4 | 5 | 8 | 0 | 0 | 591.02 | 12 | 0.4 |
| 2006 | 4 | 5 | 9 | 0 | 0 | 555.74 | 13 | 0.1 |
| 2006 | 4 | 5 | 10 | 0 | 0 | 520.46 | 14 | 0 |
| 2006 | 4 | 5 | 11 | 0 | 0 | 478.4 | 15 | 0 |
| 2006 | 4 | 5 | 12 | 0 | 0 | 439.4 | 16 | 0 |
| 2006 | 4 | 5 | 13 | 0 | 0 | 392.6 | 17 | 0 |
| 2006 | 4 | 5 | 14 | 0 | 0 | 360.1 | 18 | 0 |
| 2006 | 4 | 5 | 15 | 0 | 0 | 346.3 | 19 | 0 |
| 2006 | 4 | 5 | 16 | 0 | 0 | 325.6 | 20 | 0 |
| 2006 | 4 | 5 | 17 | 0 | 0 | 314.1 | 21 | 0 |
| 2006 | 4 | 5 | 18 | 0 | 0 | 307.2 | 22 | 1.5 |
| 2006 | 4 | 5 | 19 | 0 | 0 | 291.4 | 23 | 0.2 |

GRAFICA 30. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 05-04-2006

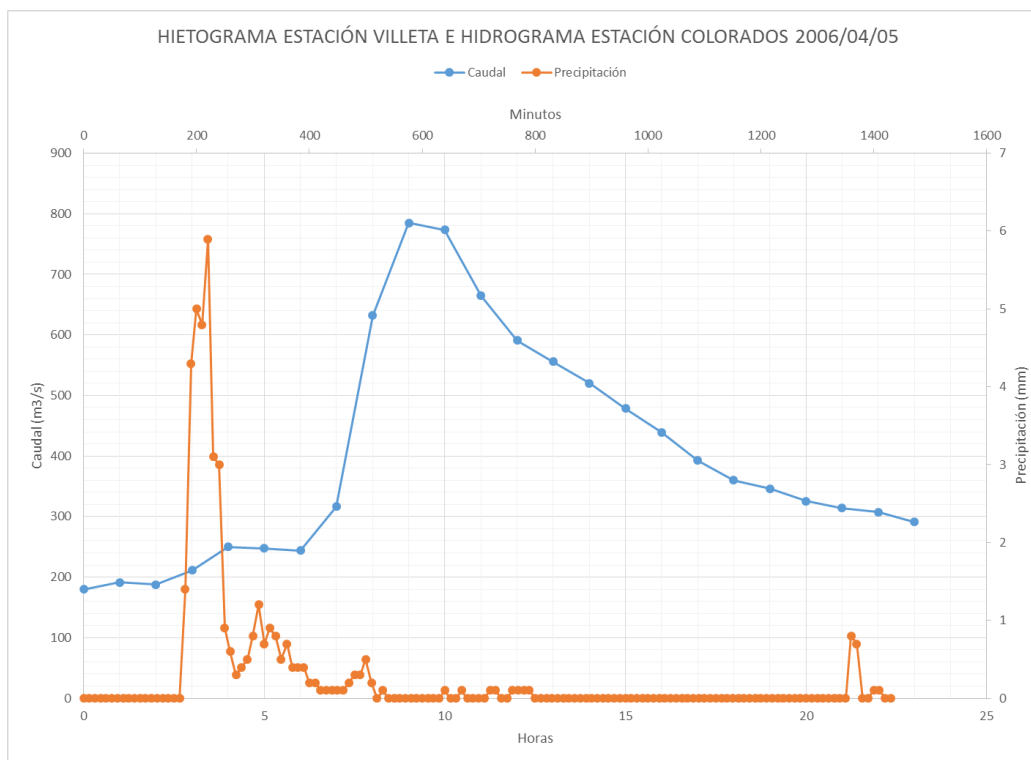




TABLA 21. Datos para evento con fecha 19-04-2006

| Año | Mes | Día | Hora | Minuto | Segundo | Q(m ³ /s) | Hora | Precipitación (mm) |
|------|-----|-----|------|--------|---------|----------------------|------|--------------------|
| 2006 | 4 | 19 | 13 | 0 | 0 | 215.05 | 0 | 0 |
| 2006 | 4 | 19 | 14 | 0 | 0 | 209.1 | 1 | 0 |
| 2006 | 4 | 19 | 15 | 0 | 0 | 205.2 | 2 | 0 |
| 2006 | 4 | 19 | 16 | 0 | 0 | 195.45 | 3 | 0 |
| 2006 | 4 | 19 | 17 | 0 | 0 | 187.65 | 4 | 0 |
| 2006 | 4 | 19 | 18 | 0 | 0 | 177.9 | 5 | 0 |
| 2006 | 4 | 19 | 19 | 0 | 0 | 175.95 | 6 | 0 |
| 2006 | 4 | 19 | 20 | 0 | 0 | 168.6 | 7 | 0 |
| 2006 | 4 | 19 | 21 | 0 | 0 | 166.8 | 8 | 0 |
| 2006 | 4 | 19 | 22 | 0 | 0 | 172.2 | 9 | 0 |
| 2006 | 4 | 19 | 23 | 0 | 0 | 185.7 | 10 | 2.9 |
| 2006 | 4 | 20 | 0 | 0 | 0 | 231.45 | 11 | 34.4 |
| 2006 | 4 | 20 | 1 | 0 | 0 | 325.6 | 12 | 24.8 |
| 2006 | 4 | 20 | 2 | 0 | 0 | 321 | 13 | 4.5 |
| 2006 | 4 | 20 | 3 | 0 | 0 | 287 | 14 | 1.9 |
| 2006 | 4 | 20 | 4 | 0 | 0 | 593.96 | 15 | 1 |
| 2006 | 4 | 20 | 5 | 0 | 0 | 954.98 | 16 | 0 |
| 2006 | 4 | 20 | 6 | 0 | 0 | 1089.3 | 17 | 0.1 |
| 2006 | 4 | 20 | 7 | 0 | 0 | 1220.2 | 18 | 0 |
| 2006 | 4 | 20 | 8 | 0 | 0 | 1038.5 | 19 | 0 |
| 2006 | 4 | 20 | 9 | 0 | 0 | 743.9 | 20 | 0 |
| 2006 | 4 | 20 | 10 | 0 | 0 | 599.84 | 21 | 0 |
| 2006 | 4 | 20 | 11 | 0 | 0 | 483.6 | 22 | 0 |
| 2006 | 4 | 20 | 12 | 0 | 0 | 421.2 | 23 | 0 |

GRAFICA 31. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 20-04-2006

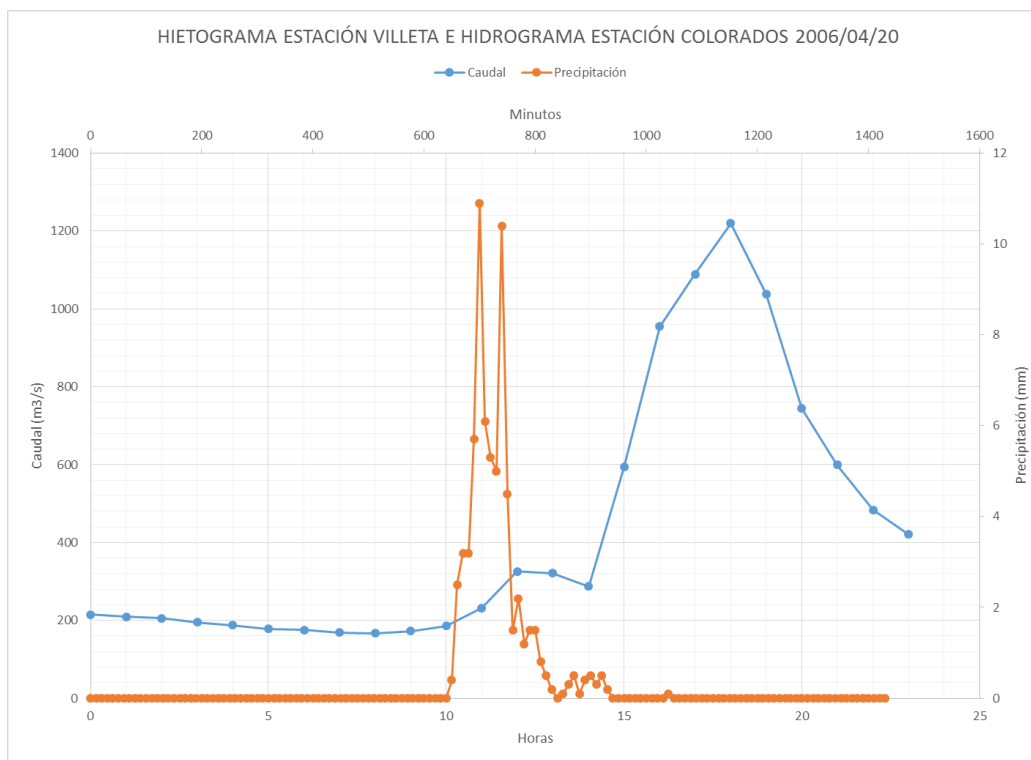




TABLA 22. Datos para evento con fecha 27-04-2006

| Año | Mes | Día | Hora | Minuto | Segundo | Q(m ³ /s) | Hora | Precipitación (mm) |
|------|-----|-----|------|--------|---------|----------------------|------|--------------------|
| 2006 | 4 | 27 | 0 | 0 | 0 | 217.1 | 0 | 0 |
| 2006 | 4 | 27 | 1 | 0 | 0 | 205.2 | 1 | 7.6 |
| 2006 | 4 | 27 | 2 | 0 | 0 | 203.25 | 2 | 21.3 |
| 2006 | 4 | 27 | 3 | 0 | 0 | 215.05 | 3 | 2.2 |
| 2006 | 4 | 27 | 4 | 0 | 0 | 239.65 | 4 | 1.4 |
| 2006 | 4 | 27 | 5 | 0 | 0 | 258.4 | 5 | 0.6 |
| 2006 | 4 | 27 | 6 | 0 | 0 | 602.78 | 6 | 0.5 |
| 2006 | 4 | 27 | 7 | 0 | 0 | 849.71 | 7 | 0.1 |
| 2006 | 4 | 27 | 8 | 0 | 0 | 1013.1 | 8 | 0.1 |
| 2006 | 4 | 27 | 9 | 0 | 0 | 1096.6 | 9 | 0 |
| 2006 | 4 | 27 | 10 | 0 | 0 | 1034.8 | 10 | 0 |
| 2006 | 4 | 27 | 11 | 0 | 0 | 827.93 | 11 | 0 |
| 2006 | 4 | 27 | 12 | 0 | 0 | 664.52 | 12 | 0 |
| 2006 | 4 | 27 | 13 | 0 | 0 | 541.04 | 13 | 0 |
| 2006 | 4 | 27 | 14 | 0 | 0 | 462.8 | 14 | 0 |
| 2006 | 4 | 27 | 15 | 0 | 0 | 423.8 | 15 | 0 |
| 2006 | 4 | 27 | 16 | 0 | 0 | 390 | 16 | 0 |
| 2006 | 4 | 27 | 17 | 0 | 0 | 367 | 17 | 0 |
| 2006 | 4 | 27 | 18 | 0 | 0 | 348.6 | 18 | 0 |
| 2006 | 4 | 27 | 19 | 0 | 0 | 325.6 | 19 | 0 |
| 2006 | 4 | 27 | 20 | 0 | 0 | 316.4 | 20 | 0 |
| 2006 | 4 | 27 | 21 | 0 | 0 | 307.2 | 21 | 0 |
| 2006 | 4 | 27 | 22 | 0 | 0 | 295.8 | 22 | 0 |
| 2006 | 4 | 27 | 23 | 0 | 0 | 289.2 | 23 | 0 |

GRAFICA 32. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 27-04-2006

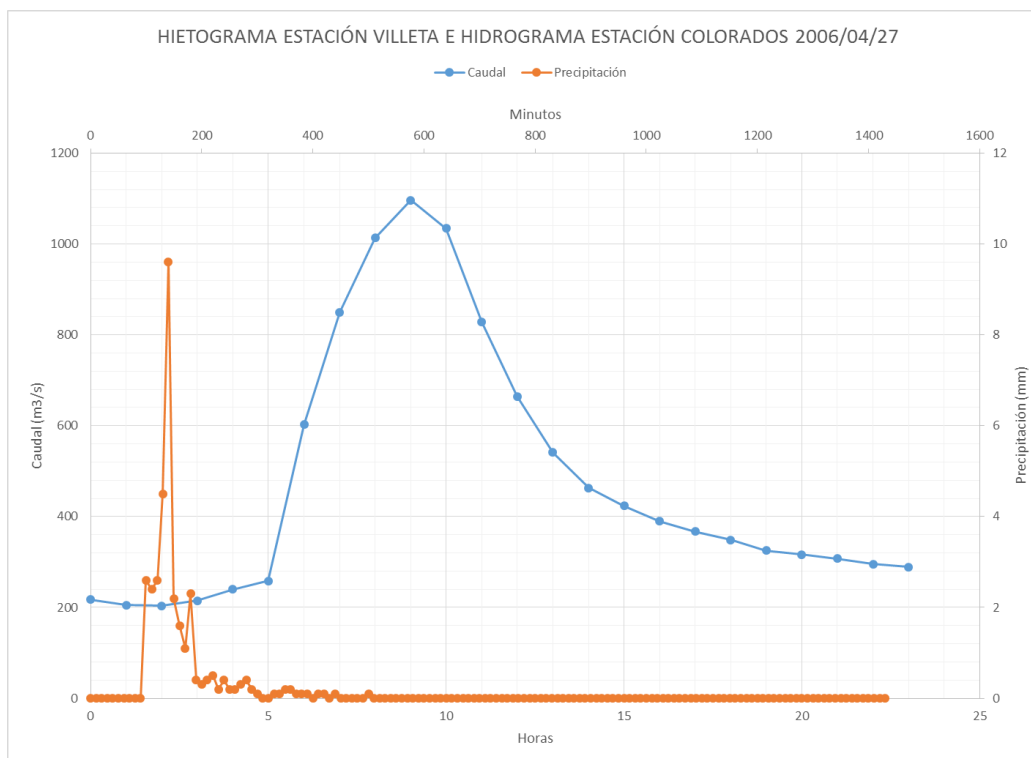




TABLA 23. Datos para evento con fecha 08-06-2006

| Año | Mes | Día | Hora | Minuto | Segundo | Q(m ³ /s) | Hora | Precipitación (mm) |
|------|-----|-----|------|--------|---------|----------------------|------|--------------------|
| 2006 | 6 | 7 | 12 | 0 | 0 | 141.6 | 0 | 0 |
| 2006 | 6 | 7 | 13 | 0 | 0 | 139.8 | 1 | 0 |
| 2006 | 6 | 7 | 14 | 0 | 0 | 138 | 2 | 0 |
| 2006 | 6 | 7 | 15 | 0 | 0 | 136.2 | 3 | 0 |
| 2006 | 6 | 7 | 16 | 0 | 0 | 139.8 | 4 | 0 |
| 2006 | 6 | 7 | 17 | 0 | 0 | 139.8 | 5 | 0.6 |
| 2006 | 6 | 7 | 18 | 0 | 0 | 141.6 | 6 | 14.2 |
| 2006 | 6 | 7 | 19 | 0 | 0 | 156 | 7 | 1.2 |
| 2006 | 6 | 7 | 20 | 0 | 0 | 165 | 8 | 0.1 |
| 2006 | 6 | 7 | 21 | 0 | 0 | 161.4 | 9 | 0 |
| 2006 | 6 | 7 | 22 | 0 | 0 | 157.8 | 10 | 0 |
| 2006 | 6 | 7 | 23 | 0 | 0 | 418.6 | 11 | 0 |
| 2006 | 6 | 8 | 0 | 0 | 0 | 588.08 | 12 | 0 |
| 2006 | 6 | 8 | 1 | 0 | 0 | 541.04 | 13 | 0 |
| 2006 | 6 | 8 | 2 | 0 | 0 | 465.4 | 14 | 0 |
| 2006 | 6 | 8 | 3 | 0 | 0 | 387.7 | 15 | 0 |
| 2006 | 6 | 8 | 4 | 0 | 0 | 327.9 | 16 | 0 |
| 2006 | 6 | 8 | 5 | 0 | 0 | 282.6 | 17 | 0 |
| 2006 | 6 | 8 | 6 | 0 | 0 | 254 | 18 | 0 |
| 2006 | 6 | 8 | 7 | 0 | 0 | 237.6 | 19 | 0 |
| 2006 | 6 | 8 | 8 | 0 | 0 | 223.25 | 20 | 0 |
| 2006 | 6 | 8 | 9 | 0 | 0 | 205.2 | 21 | 0 |
| 2006 | 6 | 8 | 10 | 0 | 0 | 197.4 | 22 | 0 |
| 2006 | 6 | 8 | 11 | 0 | 0 | 189.6 | 23 | 0 |

GRAFICA 33. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 08-06-2006

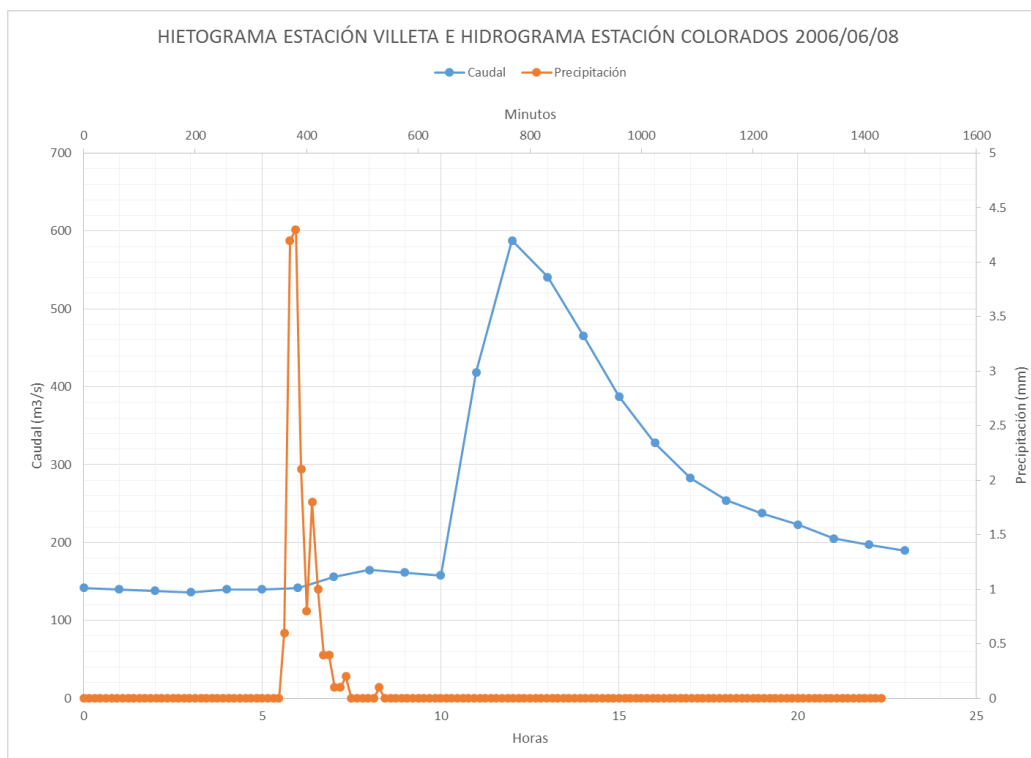




TABLA 24. Datos para evento con fecha 14-04-2010

| Año | Mes | Día | Hora | Minuto | Segundo | Q(m ³ /s) | Hora | Precipitación (mm) |
|------|-----|-----|------|--------|---------|----------------------|------|--------------------|
| 2010 | 4 | 13 | 21 | 0 | 0 | 93 | 0 | 0 |
| 2010 | 4 | 13 | 22 | 0 | 0 | 91.5 | 1 | 1.1 |
| 2010 | 4 | 13 | 23 | 0 | 0 | 93 | 2 | 13.9 |
| 2010 | 4 | 14 | 0 | 0 | 0 | 287 | 3 | 2.8 |
| 2010 | 4 | 14 | 1 | 0 | 0 | 491.4 | 4 | 3.7 |
| 2010 | 4 | 14 | 2 | 0 | 0 | 505.76 | 5 | 1.1 |
| 2010 | 4 | 14 | 3 | 0 | 0 | 813.41 | 6 | 1.2 |
| 2010 | 4 | 14 | 4 | 0 | 0 | 889.64 | 7 | 2.4 |
| 2010 | 4 | 14 | 5 | 0 | 0 | 767.42 | 8 | 1.1 |
| 2010 | 4 | 14 | 6 | 0 | 0 | 714.5 | 9 | 0.1 |
| 2010 | 4 | 14 | 7 | 0 | 0 | 702.74 | 10 | 0.8 |
| 2010 | 4 | 14 | 8 | 0 | 0 | 682.16 | 11 | 0.3 |
| 2010 | 4 | 14 | 9 | 0 | 0 | 617.48 | 12 | 0.1 |
| 2010 | 4 | 14 | 10 | 0 | 0 | 526.34 | 13 | 0 |
| 2010 | 4 | 14 | 11 | 0 | 0 | 457.6 | 14 | 0 |
| 2010 | 4 | 14 | 12 | 0 | 0 | 405.6 | 15 | 0 |
| 2010 | 4 | 14 | 13 | 0 | 0 | 392.6 | 16 | 0 |
| 2010 | 4 | 14 | 14 | 0 | 0 | 400.4 | 17 | 0 |
| 2010 | 4 | 14 | 15 | 0 | 0 | 418.6 | 18 | 0 |
| 2010 | 4 | 14 | 16 | 0 | 0 | 413.4 | 19 | 0 |
| 2010 | 4 | 14 | 17 | 0 | 0 | 367 | 20 | 0 |
| 2010 | 4 | 14 | 18 | 0 | 0 | 330.2 | 21 | 0 |
| 2010 | 4 | 14 | 19 | 0 | 0 | 300.3 | 22 | 0 |
| 2010 | 4 | 14 | 20 | 0 | 0 | 287 | 23 | 0 |

GRAFICA 34. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 14-04-2010

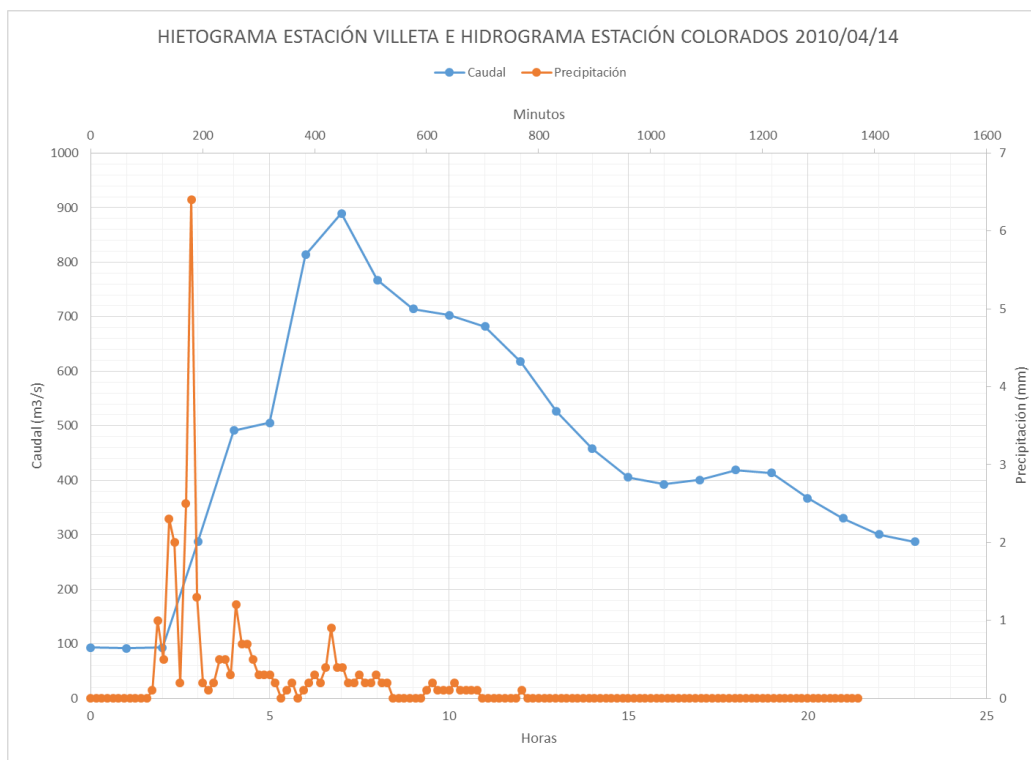




TABLA 25. Datos para evento con fecha 16-04-2010

| Año | Mes | Día | Hora | Minuto | Segundo | Q(m ³ /s) | Hora | Precipitación (mm) |
|------|-----|-----|------|--------|---------|----------------------|------|--------------------|
| 2010 | 4 | 16 | 1 | 0 | 0 | 156 | 0 | 0 |
| 2010 | 4 | 16 | 2 | 0 | 0 | 139.8 | 1 | 0 |
| 2010 | 4 | 16 | 3 | 0 | 0 | 150.6 | 2 | 0 |
| 2010 | 4 | 16 | 4 | 0 | 0 | 145.2 | 3 | 0 |
| 2010 | 4 | 16 | 5 | 0 | 0 | 145.2 | 4 | 0 |
| 2010 | 4 | 16 | 6 | 0 | 0 | 143.4 | 5 | 0 |
| 2010 | 4 | 16 | 7 | 0 | 0 | 138 | 6 | 0 |
| 2010 | 4 | 16 | 8 | 0 | 0 | 136.2 | 7 | 11.3 |
| 2010 | 4 | 16 | 9 | 0 | 0 | 132.6 | 8 | 4.9 |
| 2010 | 4 | 16 | 10 | 0 | 0 | 130.8 | 9 | 0.5 |
| 2010 | 4 | 16 | 11 | 0 | 0 | 132.6 | 10 | 2 |
| 2010 | 4 | 16 | 12 | 0 | 0 | 132.6 | 11 | 3.4 |
| 2010 | 4 | 16 | 13 | 0 | 0 | 323.3 | 12 | 2.7 |
| 2010 | 4 | 16 | 14 | 0 | 0 | 676.28 | 13 | 0.7 |
| 2010 | 4 | 16 | 15 | 0 | 0 | 664.52 | 14 | 0 |
| 2010 | 4 | 16 | 16 | 0 | 0 | 626.3 | 15 | 0 |
| 2010 | 4 | 16 | 17 | 0 | 0 | 611.6 | 16 | 0 |
| 2010 | 4 | 16 | 18 | 0 | 0 | 591.02 | 17 | 0 |
| 2010 | 4 | 16 | 19 | 0 | 0 | 511.64 | 18 | 0 |
| 2010 | 4 | 16 | 20 | 0 | 0 | 442 | 19 | 0 |
| 2010 | 4 | 16 | 21 | 0 | 0 | 395.2 | 20 | 0 |
| 2010 | 4 | 16 | 22 | 0 | 0 | 348.6 | 21 | 0 |
| 2010 | 4 | 16 | 23 | 0 | 0 | 323.3 | 22 | 0 |
| 2010 | 4 | 17 | 0 | 0 | 0 | 302.6 | 23 | 0 |

GRAFICA 35. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 16-04-2010

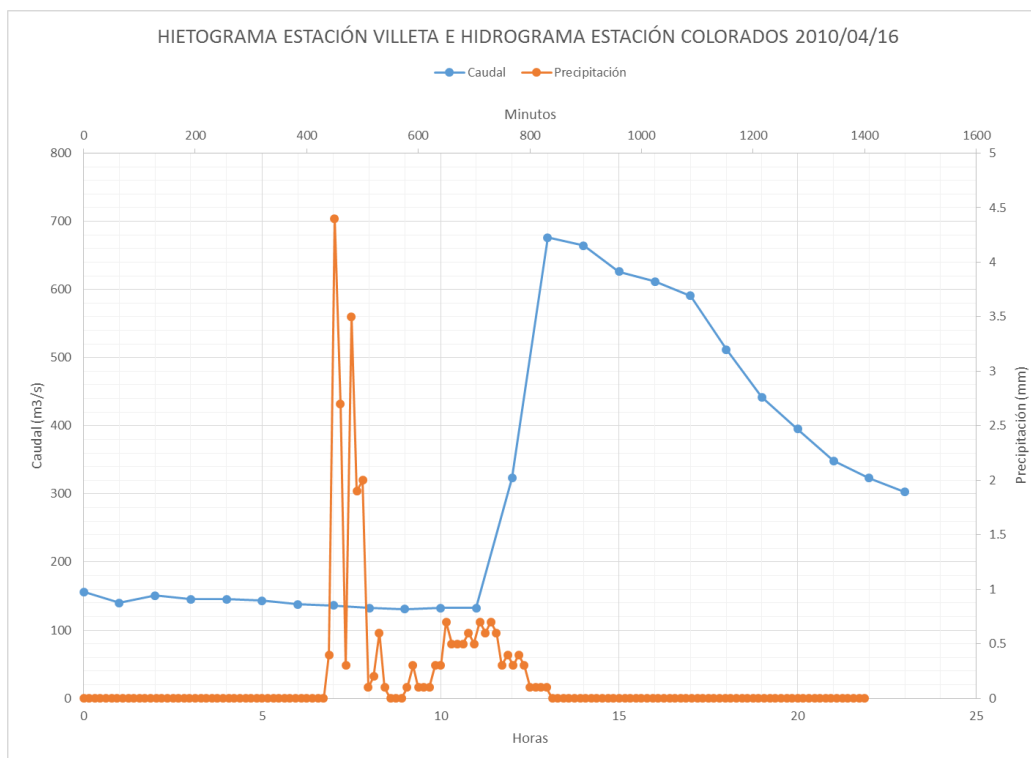




TABLA 26. Datos para evento con fecha 05-05-2010

| Año | Mes | Día | Hora | Minuto | Segundo | Q(m ³ /s) | Hora | Precipitación (mm) |
|------|-----|-----|------|--------|---------|----------------------|------|--------------------|
| 2010 | 5 | 5 | 1 | 0 | 0 | 175.95 | 0 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 2 | 0 | 0 | 159.6 | 1 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 3 | 0 | 0 | 157.8 | 2 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 4 | 0 | 0 | 165 | 3 | 3 |
| 2010 | 5 | 5 | 5 | 0 | 0 | 161.4 | 4 | 3.1 |
| 2010 | 5 | 5 | 6 | 0 | 0 | 165 | 5 | 0.2 |
| 2010 | 5 | 5 | 7 | 0 | 0 | 304.9 | 6 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 8 | 0 | 0 | 591.02 | 7 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 9 | 0 | 0 | 813.41 | 8 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 10 | 0 | 0 | 878.75 | 9 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 11 | 0 | 0 | 767.42 | 10 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 12 | 0 | 0 | 523.4 | 11 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 13 | 0 | 0 | 392.6 | 12 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 14 | 0 | 0 | 346.3 | 13 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 15 | 0 | 0 | 300.3 | 14 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 16 | 0 | 0 | 267.2 | 15 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 17 | 0 | 0 | 231.45 | 16 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 18 | 0 | 0 | 213 | 17 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 19 | 0 | 0 | 197.4 | 18 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 20 | 0 | 0 | 197.4 | 19 | 0 |
| 2010 | 5 | 5 | 21 | 0 | 0 | 181.8 | 20 | 0.4 |
| 2010 | 5 | 5 | 22 | 0 | 0 | 177.9 | 21 | 5.6 |
| 2010 | 5 | 5 | 23 | 0 | 0 | 185.7 | 22 | 2.5 |
| 2010 | 5 | 6 | 0 | 0 | 0 | 191.55 | 23 | 1 |

GRAFICA 36. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 05-05-2010

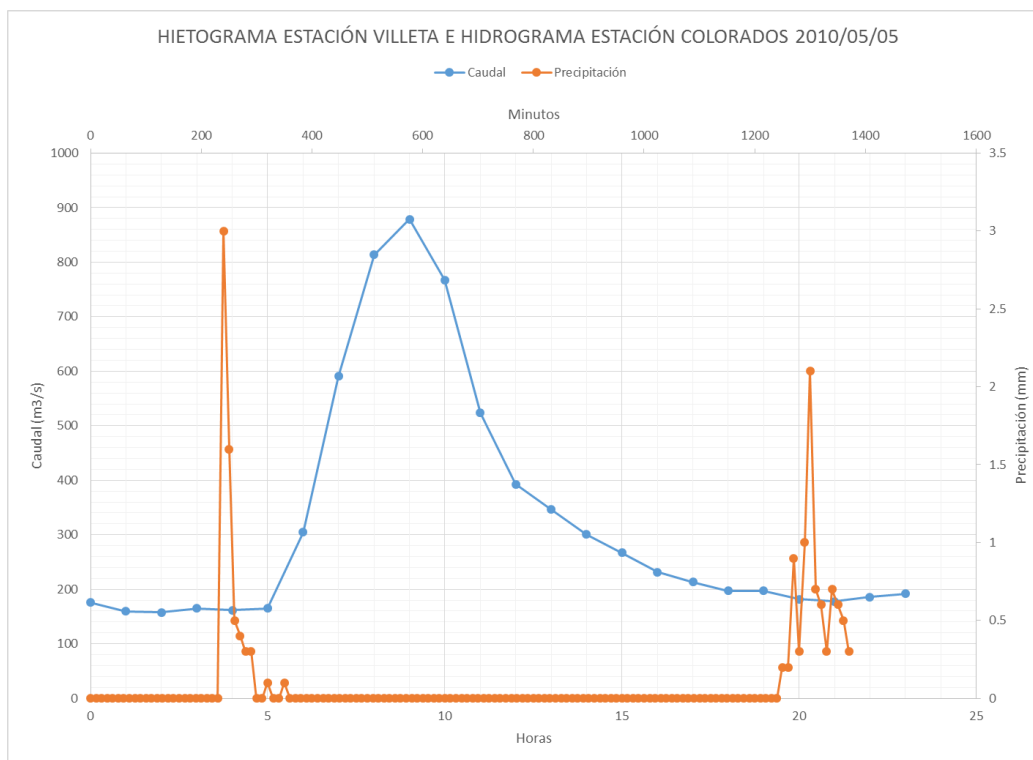
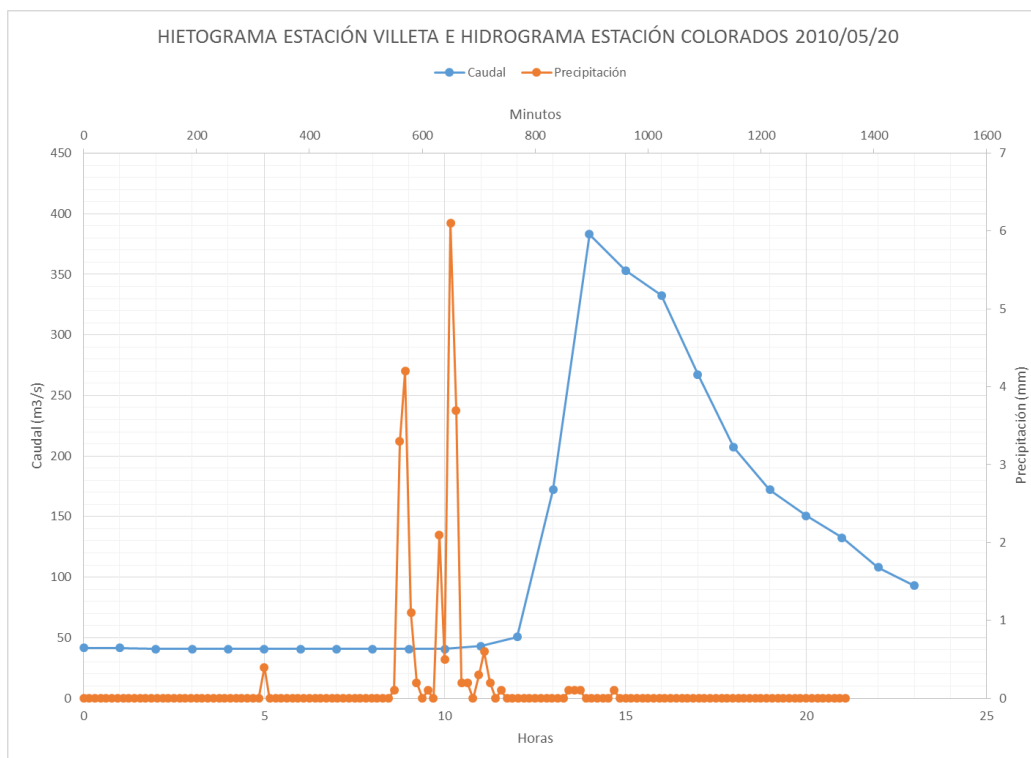




TABLA 27. Datos para evento con fecha 20-05-2010

| Año | Mes | Día | Hora | Minuto | Segundo | Q(m ³ /s) | Hora | Precipitación (mm) |
|------|-----|-----|------|--------|---------|----------------------|------|--------------------|
| 2010 | 5 | 20 | 13 | 0 | 0 | 41.6 | 0 | 0 |
| 2010 | 5 | 20 | 14 | 0 | 0 | 41.6 | 1 | 0 |
| 2010 | 5 | 20 | 15 | 0 | 0 | 40.8 | 2 | 0 |
| 2010 | 5 | 20 | 16 | 0 | 0 | 40.8 | 3 | 0 |
| 2010 | 5 | 20 | 17 | 0 | 0 | 40.8 | 4 | 0 |
| 2010 | 5 | 20 | 18 | 0 | 0 | 40.8 | 5 | 0.4 |
| 2010 | 5 | 20 | 19 | 0 | 0 | 40.8 | 6 | 0 |
| 2010 | 5 | 20 | 20 | 0 | 0 | 40.8 | 7 | 0 |
| 2010 | 5 | 20 | 21 | 0 | 0 | 40.8 | 8 | 0 |
| 2010 | 5 | 20 | 22 | 0 | 0 | 40.8 | 9 | 8.9 |
| 2010 | 5 | 20 | 23 | 0 | 0 | 40.8 | 10 | 12.5 |
| 2010 | 5 | 21 | 0 | 0 | 0 | 43.2 | 11 | 1.5 |
| 2010 | 5 | 21 | 1 | 0 | 0 | 50.6 | 12 | 0.1 |
| 2010 | 5 | 21 | 2 | 0 | 0 | 172.2 | 13 | 0 |
| 2010 | 5 | 21 | 3 | 0 | 0 | 383.1 | 14 | 0.3 |
| 2010 | 5 | 21 | 4 | 0 | 0 | 353.2 | 15 | 0.1 |
| 2010 | 5 | 21 | 5 | 0 | 0 | 332.5 | 16 | 0 |
| 2010 | 5 | 21 | 6 | 0 | 0 | 267.2 | 17 | 0 |
| 2010 | 5 | 21 | 7 | 0 | 0 | 207.15 | 18 | 0 |
| 2010 | 5 | 21 | 8 | 0 | 0 | 172.2 | 19 | 0 |
| 2010 | 5 | 21 | 9 | 0 | 0 | 150.6 | 20 | 0 |
| 2010 | 5 | 21 | 10 | 0 | 0 | 132.6 | 21 | 0 |
| 2010 | 5 | 21 | 11 | 0 | 0 | 108 | 22 | 0 |
| 2010 | 5 | 21 | 12 | 0 | 0 | 93 | 23 | 0 |

GRAFICA 37. Hietograma estación Villeta e Hidrograma estación Colorados 20-05-2010





Con los datos obtenidos anteriormente, se procede a identificar la precipitación máxima que cae dentro de la cuenca; el caudal observado que es el caudal máximo registrado, el tiempo al pico, que es el tiempo en horas desde que cae el pulso de lluvia hasta que se genera el pico del hidrograma y finalmente el caudal base que es el caudal mínimo registrado en la estación de Colorados.

De acuerdo con esto se calcula el Caudal pico observado de la siguiente manera:

$$Q_{p\text{Observado}} = Q_{\text{observado}} - Q_{\text{base}}$$

GRAFICA 38. Tabla resumen de Qp y Tp

| Número | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Fecha | 20060325 | 20060324 | 20060420 | 20060427 | 20060608 | 20060405 | 20100416 | 20100414 | 20100505 | 20100520 |
| P Observada (mm) | 12.2 | 2.2 | 10.9 | 9.6 | 4.3 | 5.9 | 4.4 | 6.4 | 3 | 6.1 |
| Tp Observado (h) | 7 | 2 | 6 | 6.8 | 6 | 5.5 | 6 | 4.1 | 5.1 | 4 |
| Q Observado (m ³ /s) | 552.8 | 360.1 | 1220.2 | 1096.6 | 588.08 | 785.06 | 676.28 | 889.64 | 878.75 | 383.1 |
| Q Base Observado (m ³ /s) | 201.3 | 154.2 | 166.8 | 203.25 | 136.2 | 179.85 | 130.8 | 91.5 | 157.8 | 40.8 |
| Qp Observado (m ³ /s) | 351.5 | 205.9 | 1053.4 | 893.35 | 451.88 | 605.21 | 545.48 | 798.14 | 720.95 | 342.3 |
| RA | 3.607 | 3.607 | 3.607 | 3.607 | 3.607 | 3.607 | 3.607 | 3.607 | 3.607 | 3.607 |
| RB | 3.834 | 3.834 | 3.834 | 3.834 | 3.834 | 3.834 | 3.834 | 3.834 | 3.834 | 3.834 |
| RL | 1.932 | 1.932 | 1.932 | 1.932 | 1.932 | 1.932 | 1.932 | 1.932 | 1.932 | 1.932 |
| Longitud Cauce Principal (km) | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 |
| Área (km ²) | 3110.551 | 3110.551 | 3110.551 | 3110.551 | 3110.551 | 3110.551 | 3110.551 | 3110.551 | 3110.551 | 3110.551 |
| Factor V (m/s) | 1.1 | 3.7 | 3.8 | 3.7 | 4.1 | 4 | 4.9 | 4.9 | 5 | 2.2 |
| Tp Calculado (h) | 19.002 | 5.649 | 5.501 | 5.649 | 5.098 | 5.225 | 4.266 | 4.266 | 4.180 | 9.501 |
| Qp Calculado (h ⁻¹) | 0.032 | 0.109 | 0.112 | 0.109 | 0.121 | 0.118 | 0.144 | 0.144 | 0.147 | 0.065 |
| Q Calculado (m ³ /s) | 341.698 | 207.259 | 1054.629 | 904.404 | 448.892 | 600.899 | 548.957 | 798.483 | 381.927 | 341.698 |

Finalmente se calcula el Qp y el Tp de acuerdo con las ecuaciones establecidas por *Rodríguez-Iturbe et al. [1979]*, calibrando el factor v , que es el umbral de velocidad para la cuenca.

$$Q_p = \theta \cdot v$$

$$T_p = k/v$$

Donde:

$$\theta = 1.31/L_{\Omega} \cdot R_L^{0.43}$$

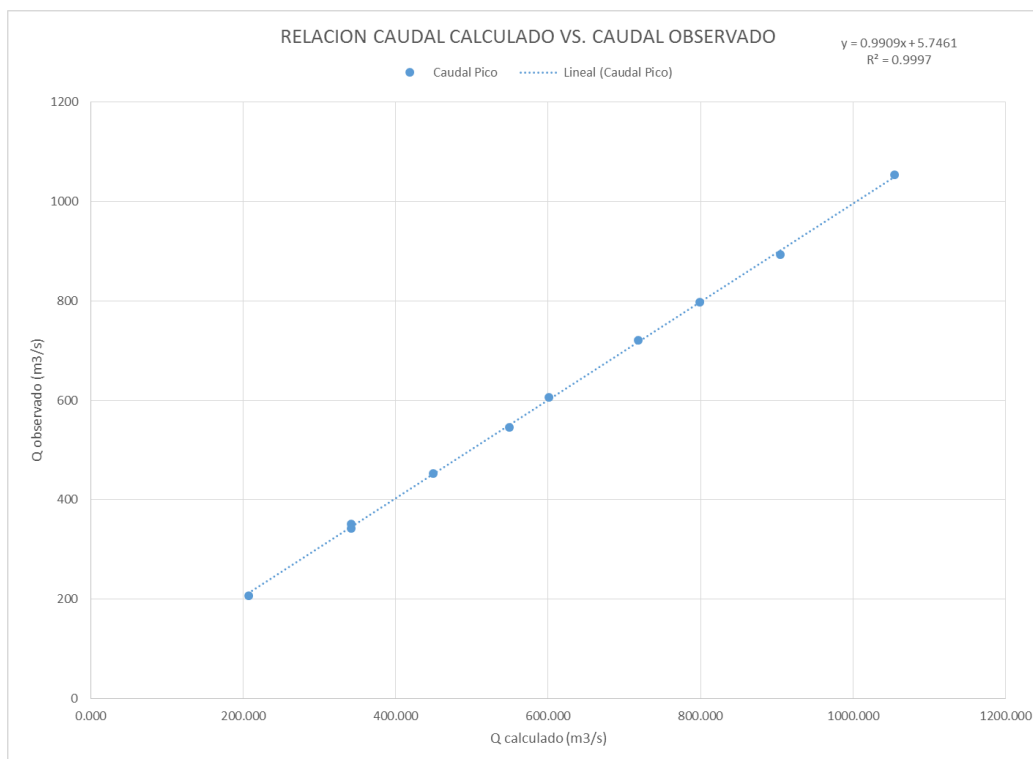
$$k = 0.44L_{\Omega}R_B^{0.55}R_A^{-0.55}R_L^{-0.38}$$

v es el umbral de velocidad, L_{Ω} es la longitud de la corriente de orden mayor y RA, RB, y RL son los números de Horton.



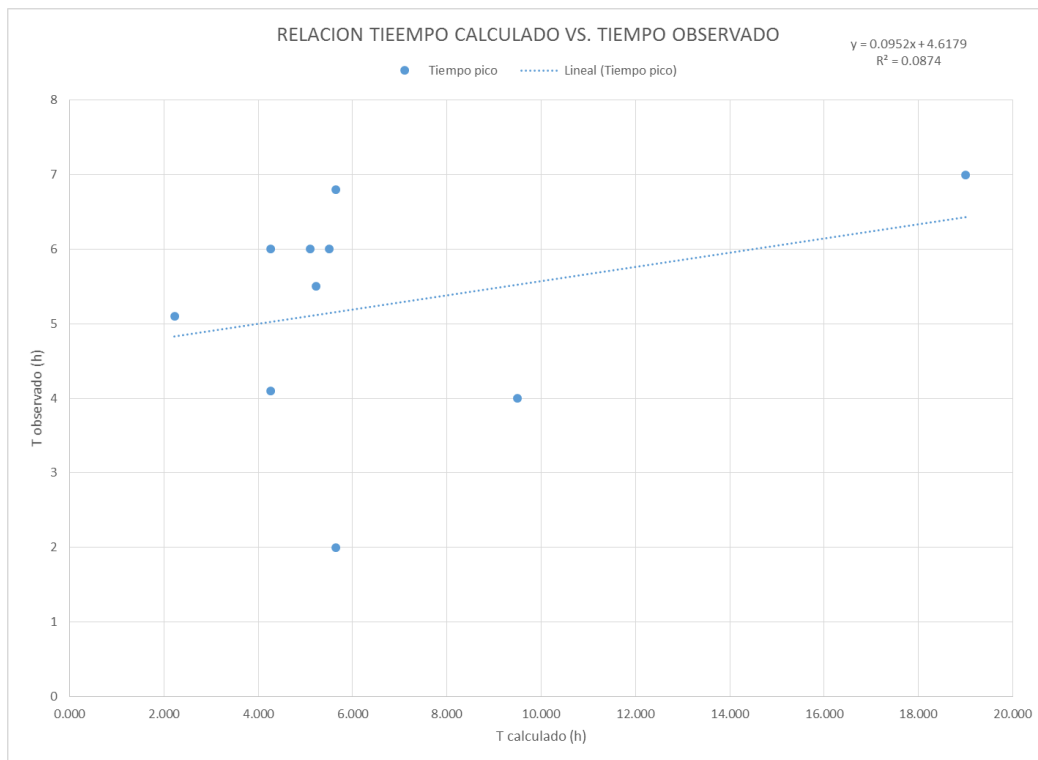
A continuación se tiene la relación de los resultados para caudal pico y tiempo al pico, con el respectivo coeficiente de determinación:

GRAFICA 39. Relación caudal calculado vs. caudal observado





GRAFICA 40. Relación tiempo calculado vs. tiempo observado



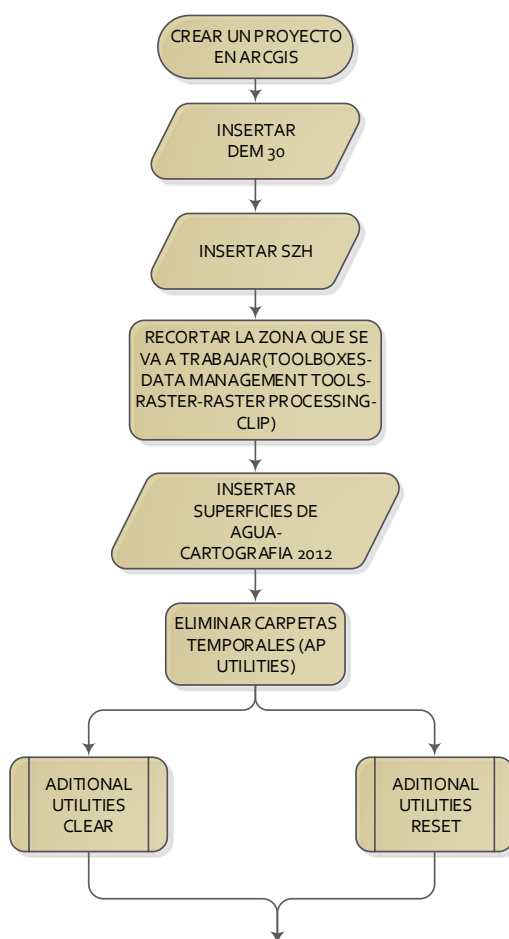


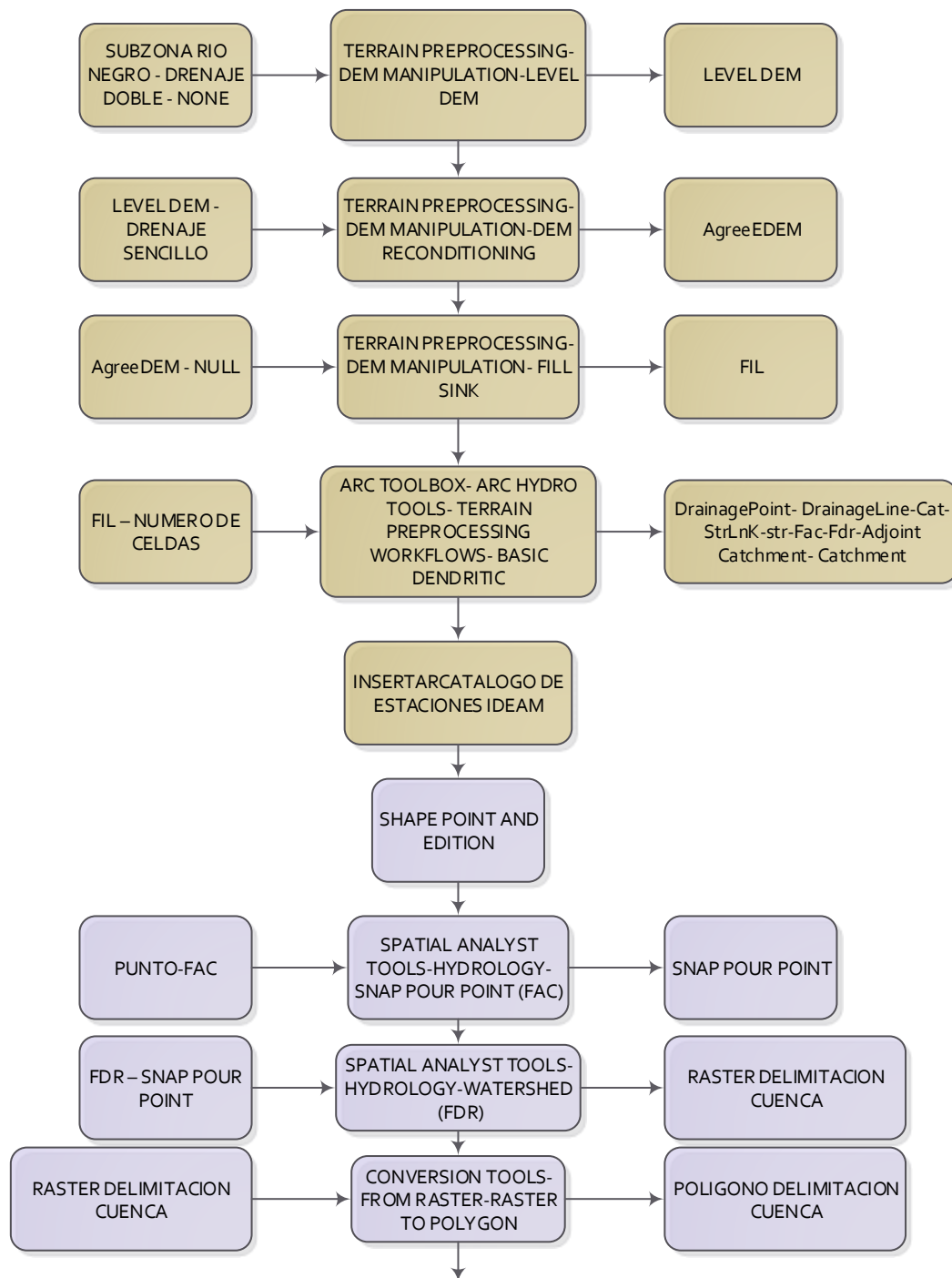
13 PRODUCTOS

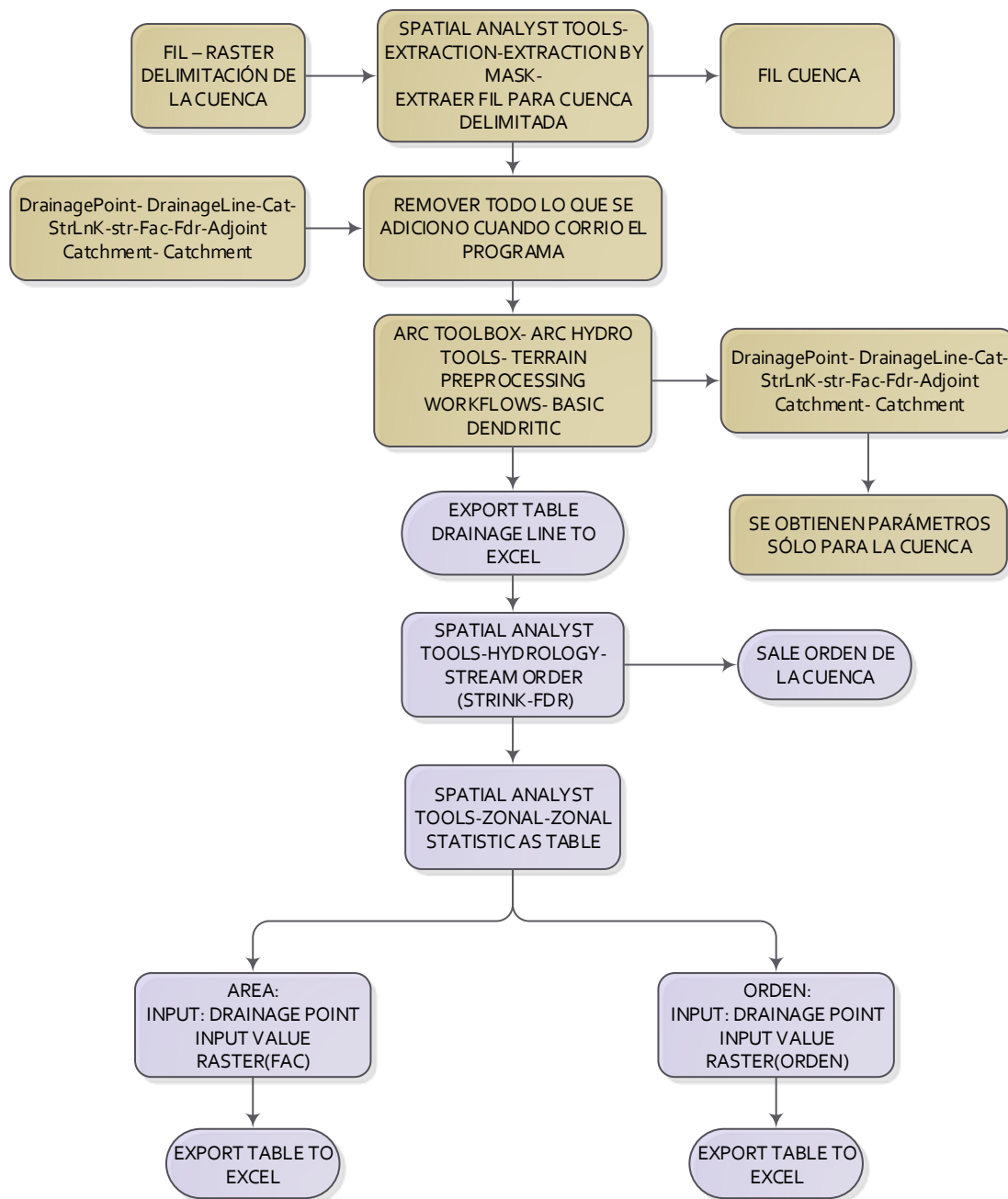
Dentro de los productos se tiene una definición del proceso a llevar a cabo en ArcGIS mediante un diagrama de flujo y un tutorial más específico para llevar a cabo el proceso con éxito, estos dos productos fueron elaborados después de varios ensayos con el fin de obtener los resultados más precisos.

13.1.1 DIAGRAMA DE FLUJO

ILUSTRACIÓN 11. Diagrama de flujo para trabajar en ArcGIS V. 10.0







Fuente: Compilado por las autoras



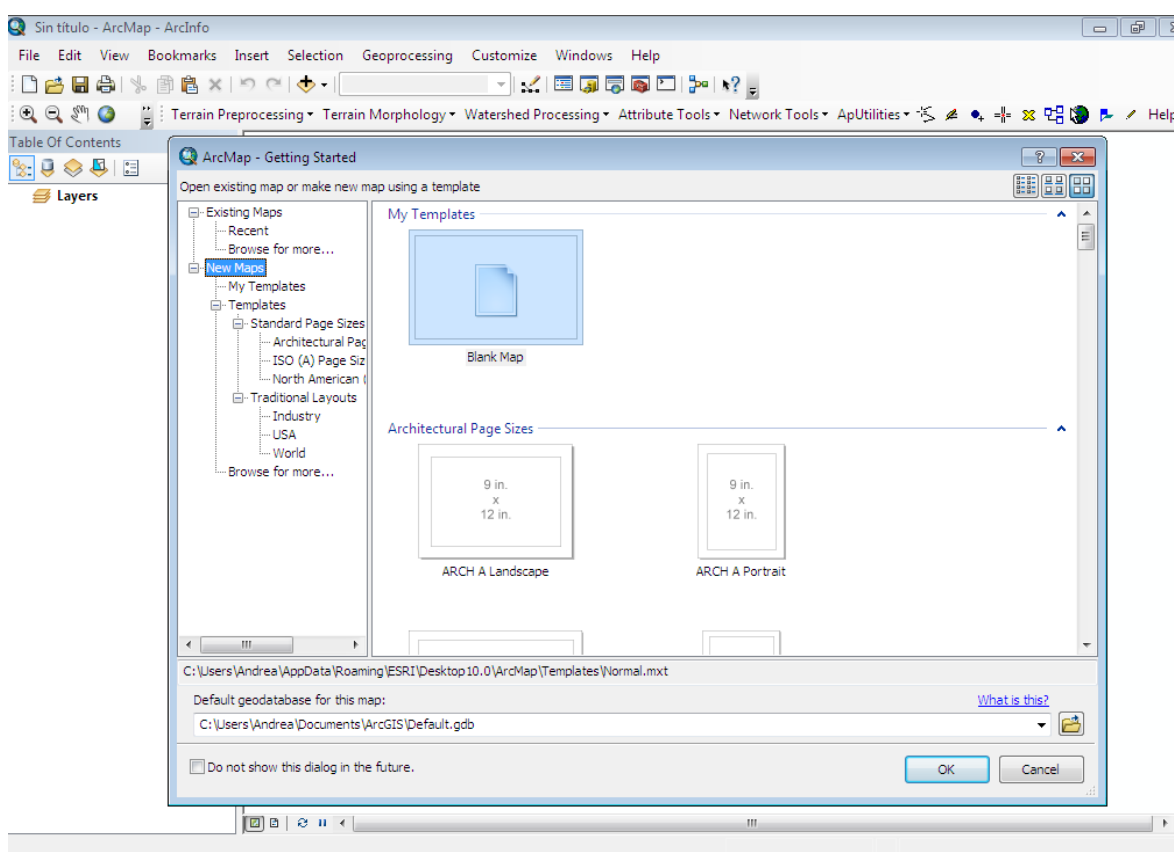
13.1.2 TUTORIAL

Crear un proyecto en ArcGIS

Buscar en el Desktop el icono (ArcMap)  y hacer doble click

Crear un nuevo proyecto usando la opción BlankMap y ok


PANTALLAZO 16. Crear un nuevo proyecto en ArcGIS



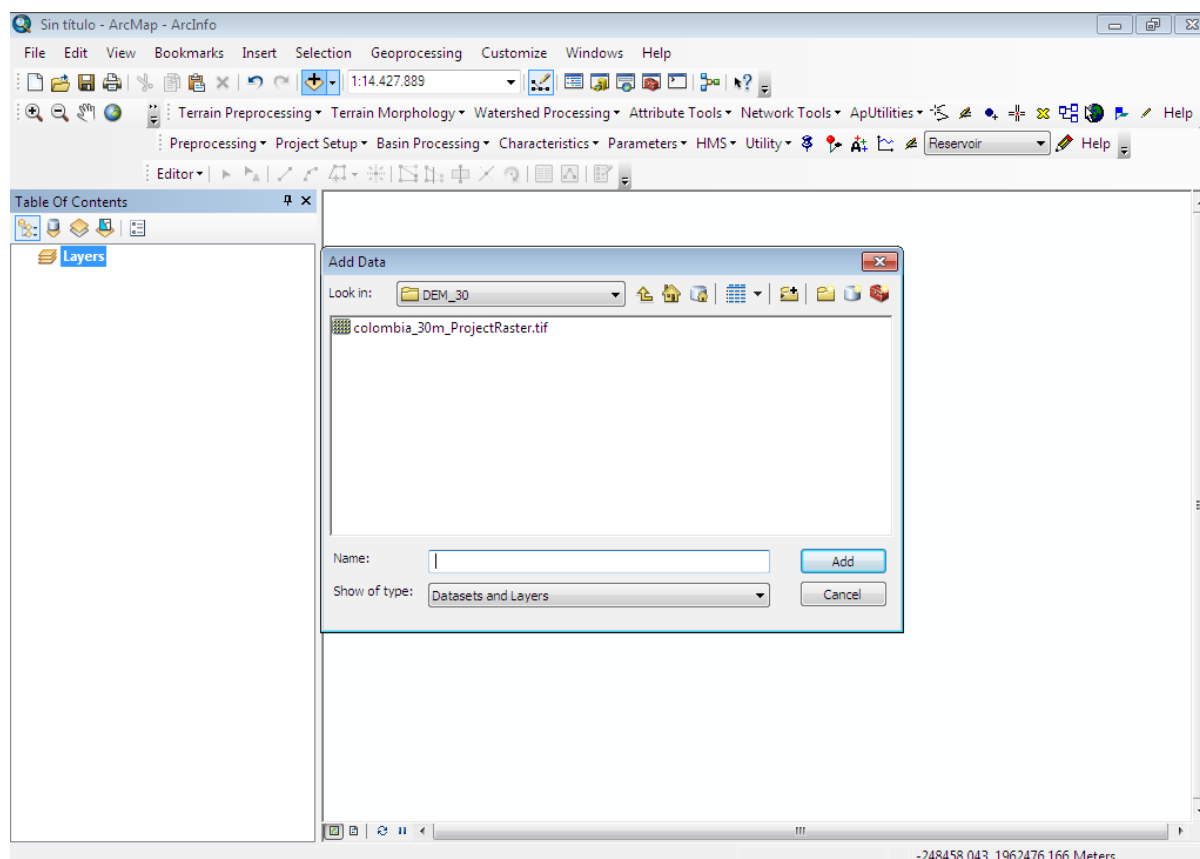
Buscar en el menú principal File - Save as y guardar el archivo con su respectivo nombre



Insertar SZH y DEM 30

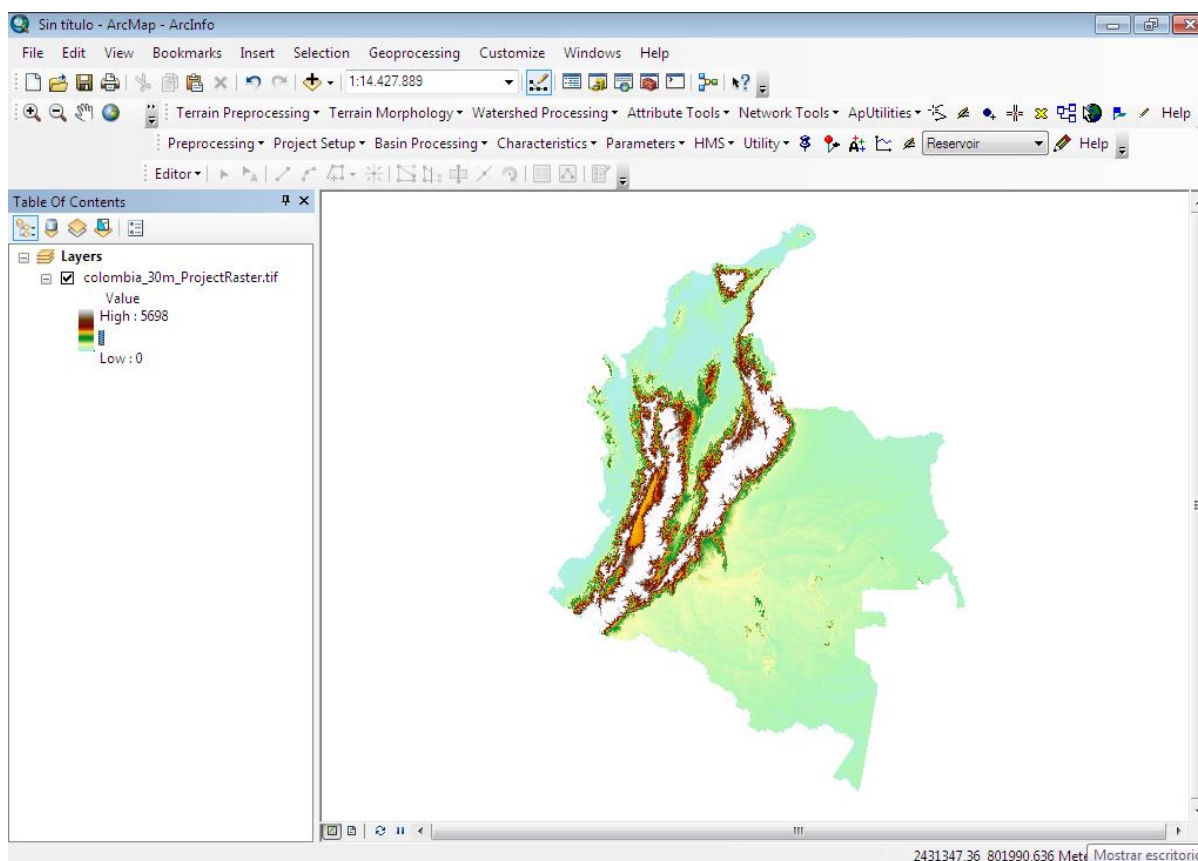
Hacer click en el icono AddData , a continuación navegar por el equipo hasta encontrar la carpeta que contenga el archivo colombia_30m_ProjectRaster.tif. Cuando este cargue usted encontrara el mapa de Colombia

PANTALLAZO 17. Insertar DEM_30 en el proyecto de ArcGIS





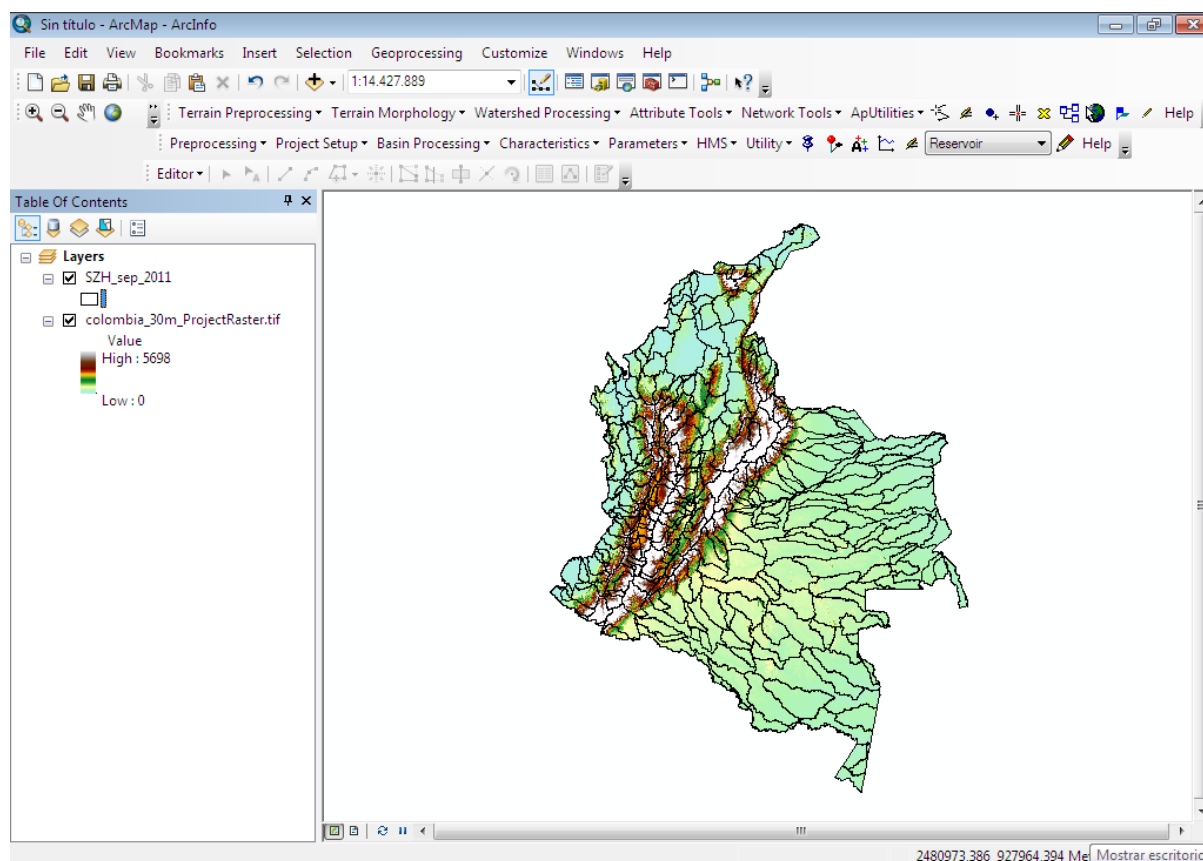
PANTALLAZO 18. Vista general del mapa de Colombia una vez ya insertado DEM_30



Realizar el mismo proceso buscando el archivo SZH_sep_2011.shp

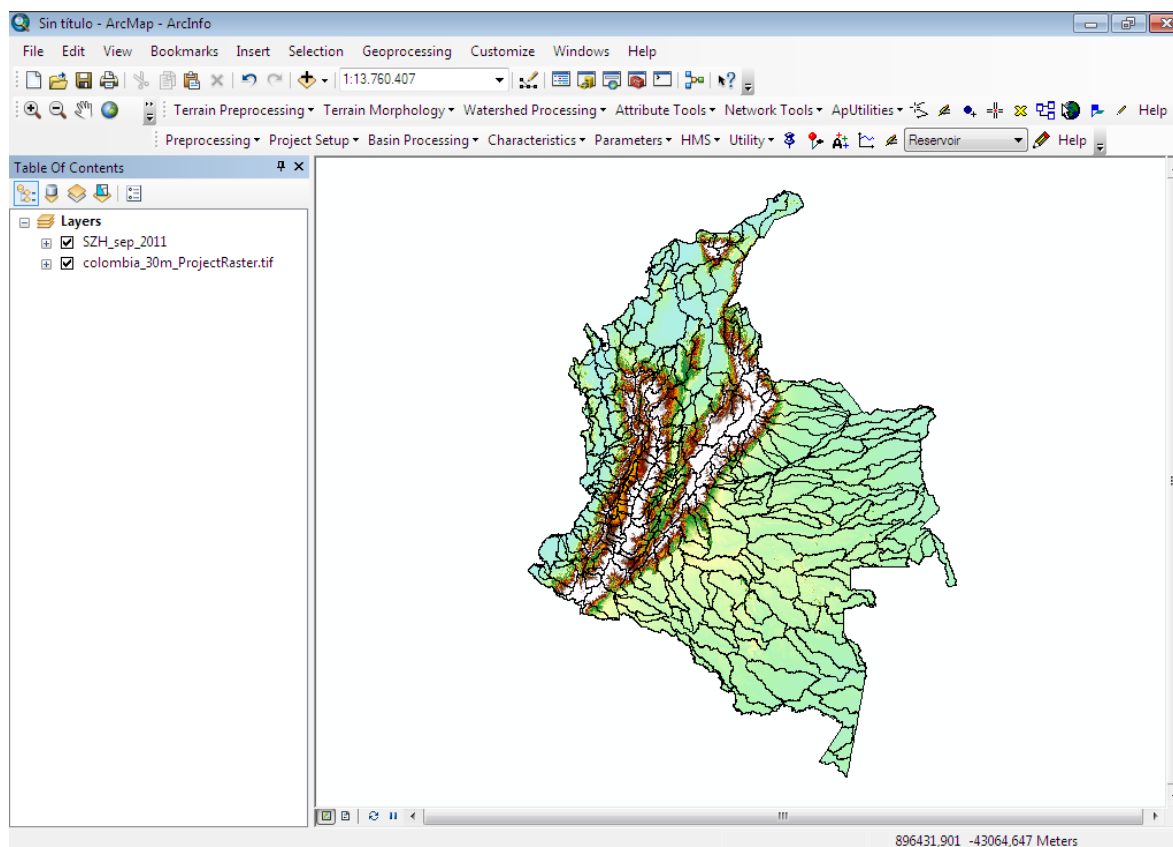


PANTALLAZO 19. Vista general del mapa de Colombia una vez ya insertado SZH





PANTALLAZO 20. SZH y DEM 30 ya insertados en el proyecto de ArcGIS

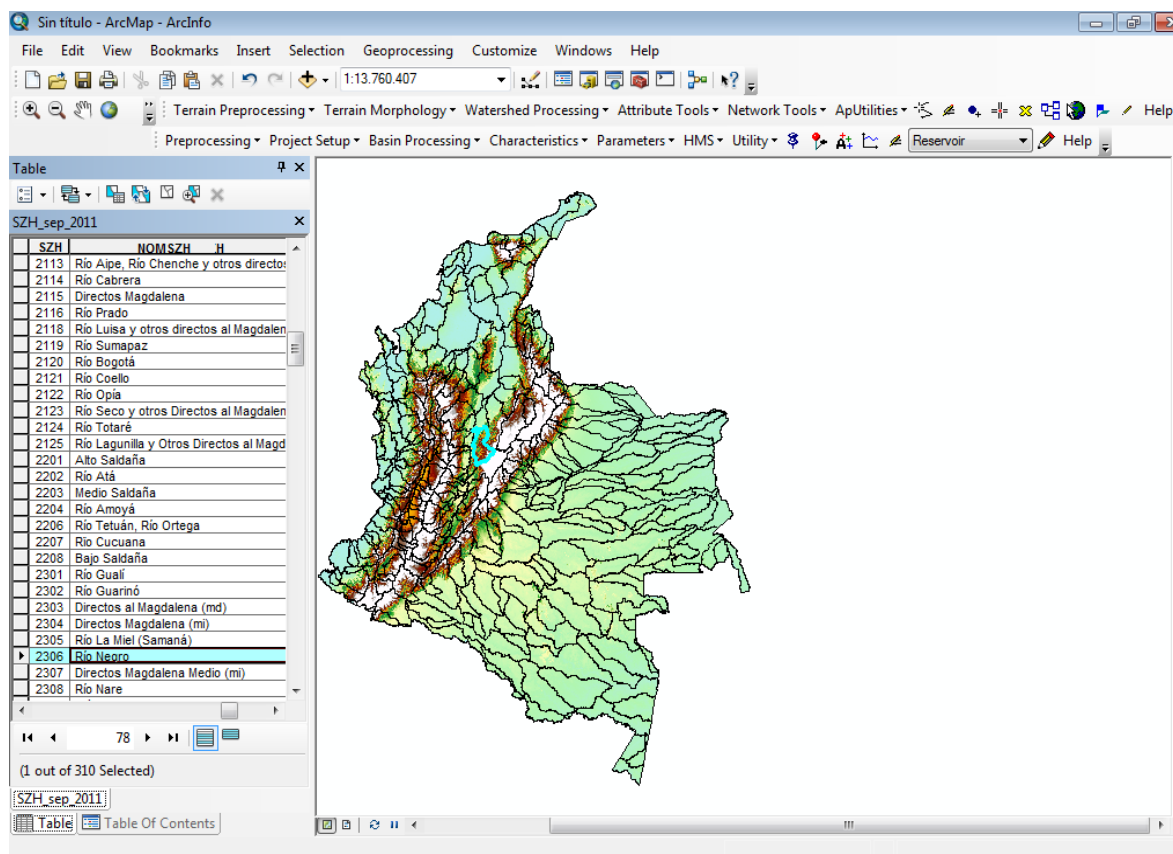


Recortar la zona

Se determina la zona dando click derecho en el layer SZH_sep_2011.shp – open attribute table,
A continuación se busca la subzona la cual se va analizar, en este caso será zona 2306 – Rio Negro

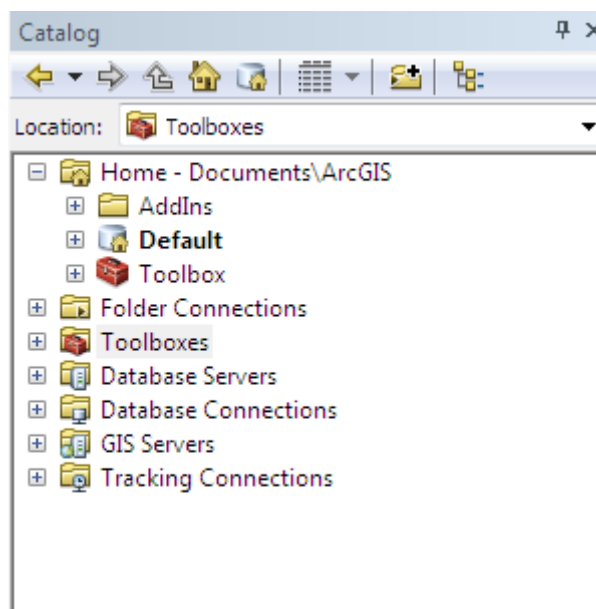


PANTALLAZO 21. Definición de la subzona 2306

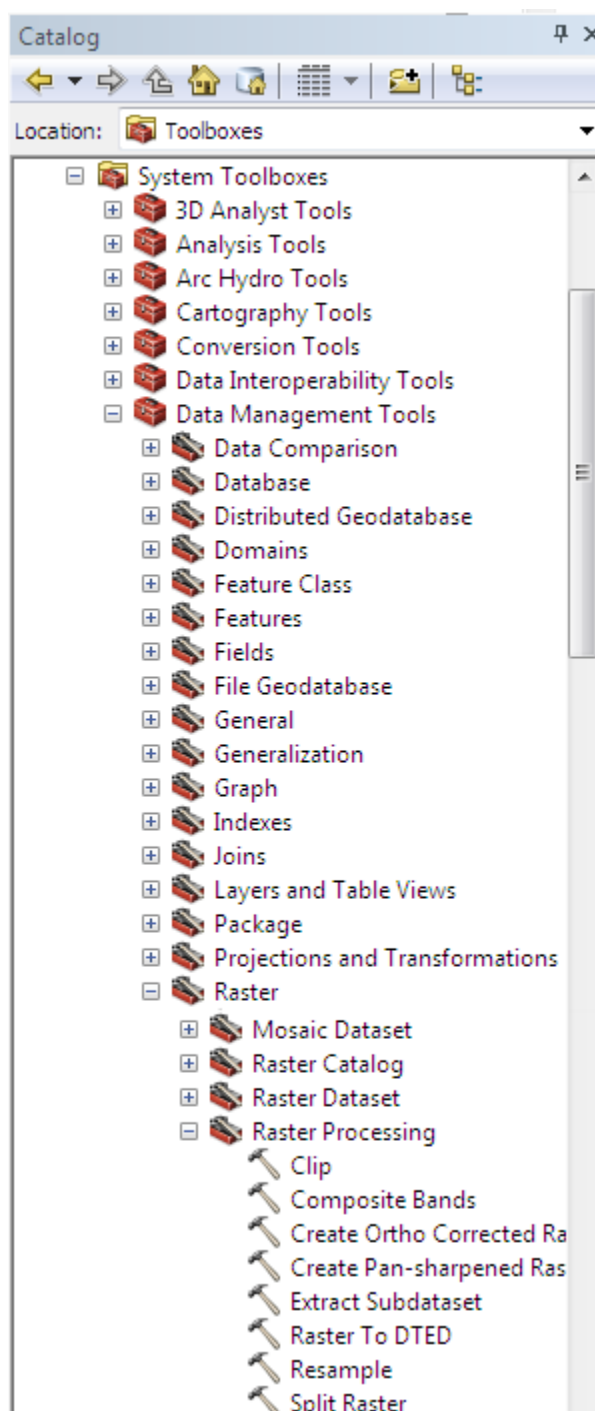


Hacer click derecho en la parte superior y activar ArcHydro Tools. Para realizar este proceso es necesario descargar ArcHydro que sirve como un complemento de ArcGIS para un análisis de datos geospaciales y temporales.

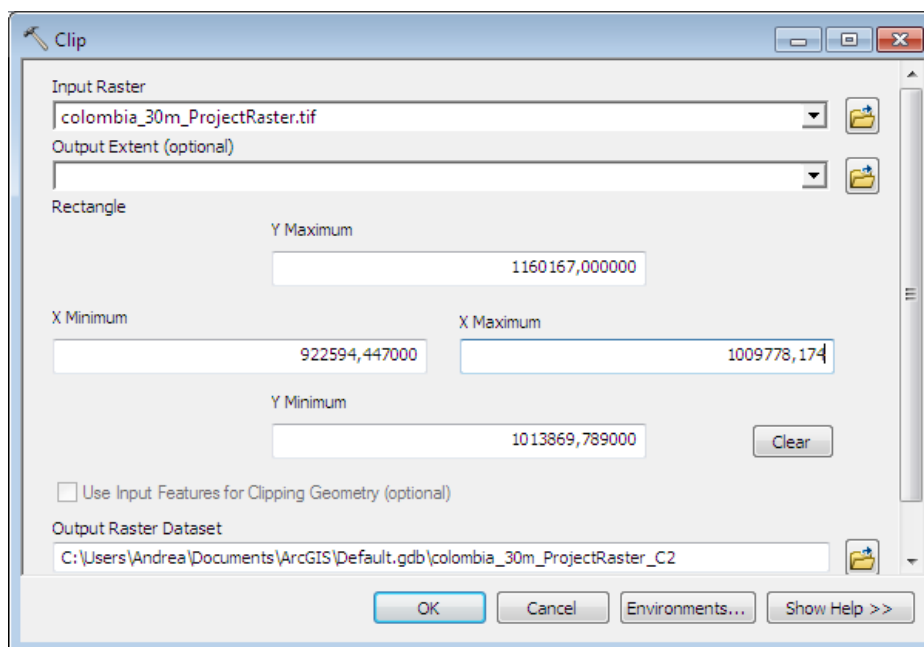
En el menú principal buscar en Windows – catalog



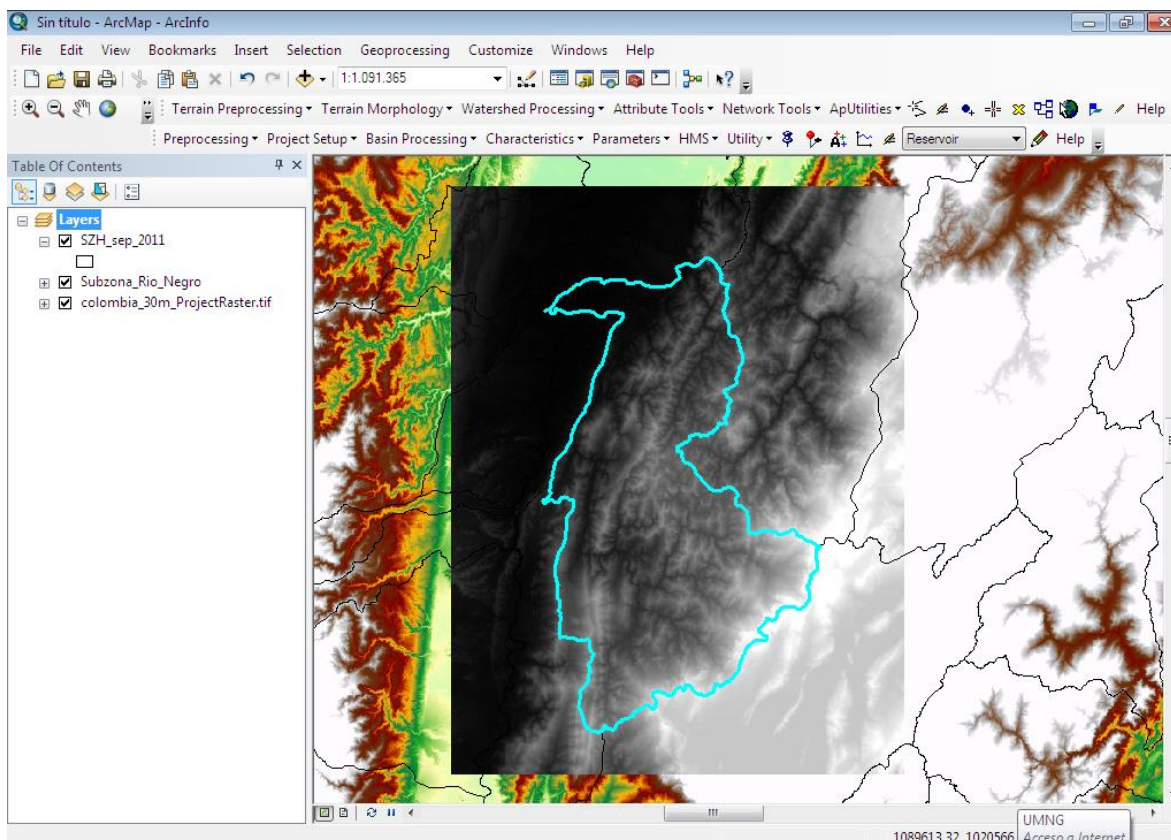
Mover el cursor hasta Toolboxes – System toolboxes – Data Management Tools -Raster –
Raster Processing – Clip.



A continuación se muestra la tabla en donde es necesario buscar las coordenadas X, Y con el fin de determinar la zona o sector analizar. La forma de buscar las coordenadas es moviendo el cursor alrededor de la zona y aparecerán en la parte inferior derecha dichas coordenadas.



PANTALLAZO 22. Subzona 2306 definida





Insertar superficies de agua cartografía IGAC 2012


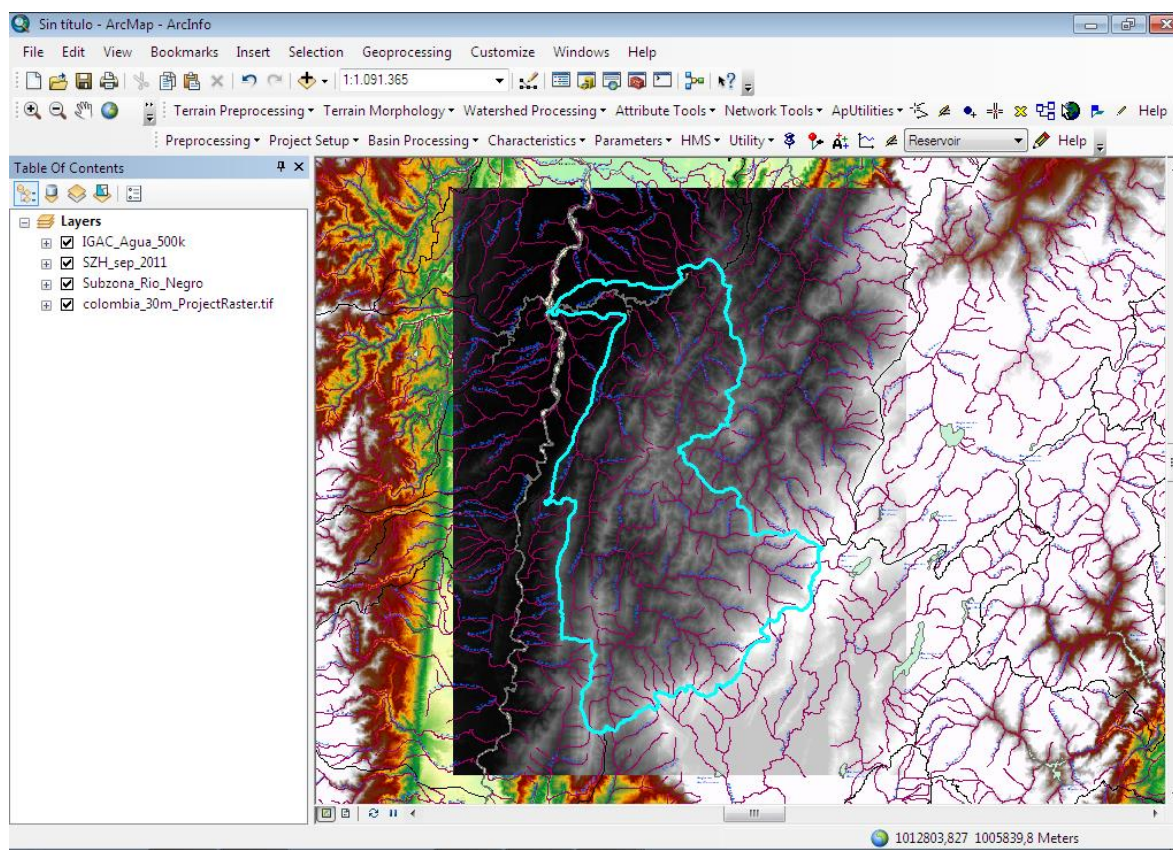
En el icono AddData , a continuación navegar por el equipo hasta encontrar la carpeta que contenga el archivo Superficies_agua o como el usuario tenga indicado la red de drenaje de la subzona.

ILUSTRACIÓN 12. Superficies de agua

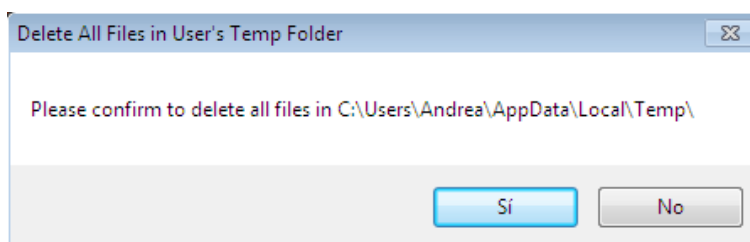
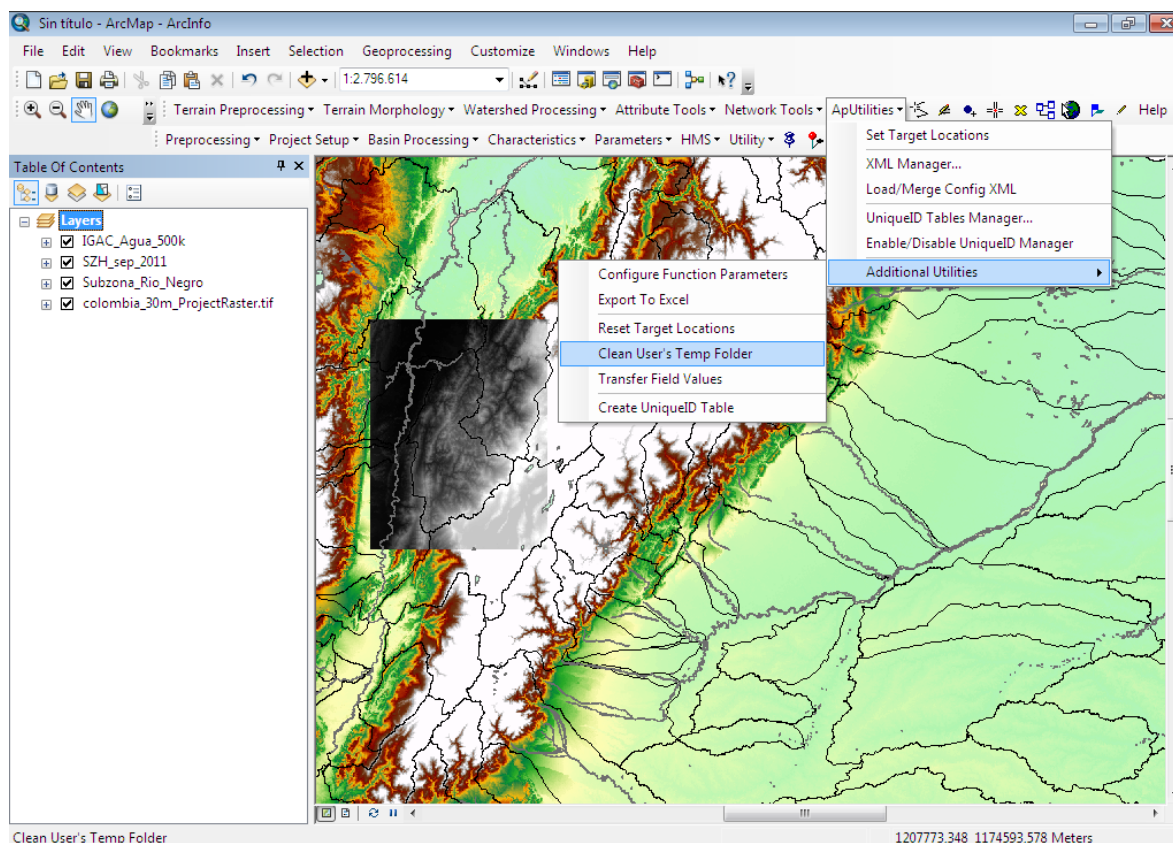


Eliminar carpetas temporales

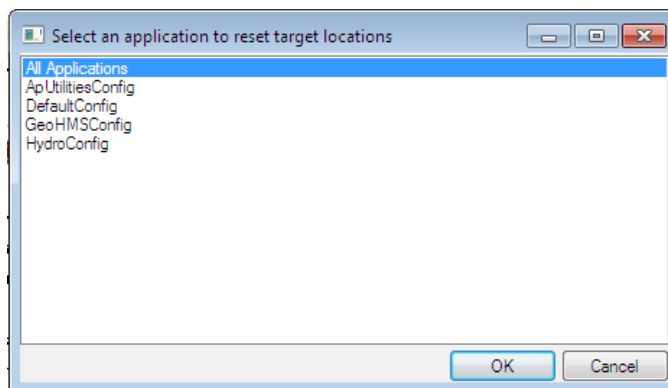
Entrar a ApUtilities- additionalutilities – cleanUser'sTemp Folder. Posteriormente aparecerá un cuadro de dialogo en donde confirma si se quiere eliminar los archivos temporales.



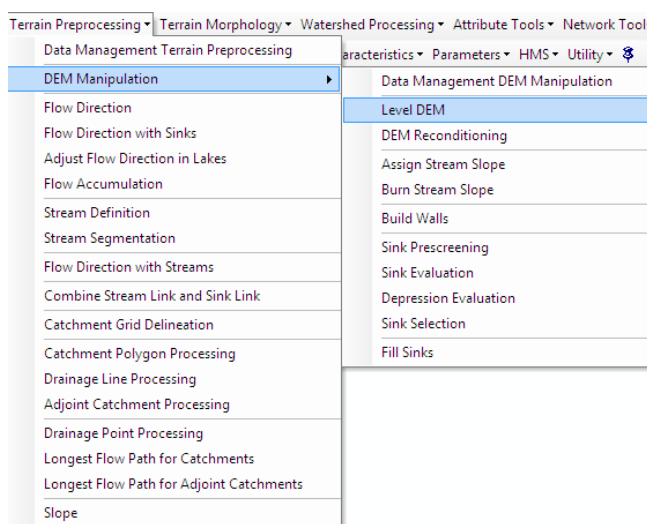
PANTALLAZO 23. Eliminación de archivos temporales



Realizar el mismo paso pero esta vez dar click en Reset Target Locations. En el cuadro seleccionar cada una de las aplicaciones y dar ok. Volver a repetir el primer paso para la eliminación de archivos temporales.



Terrain preprocessing- DEM Manipulation- Level DEM



A continuación aparecerá un recuadro en donde se escogerá La subzona del Rio Negro, drenaje doble, elevación ninguna.

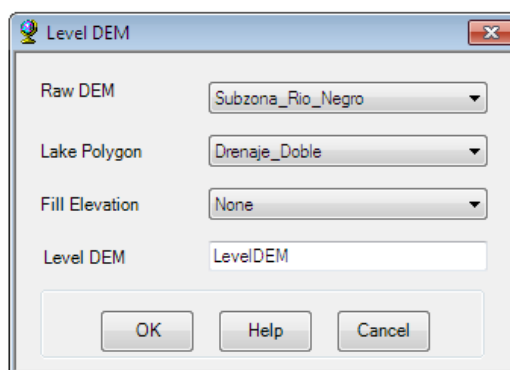
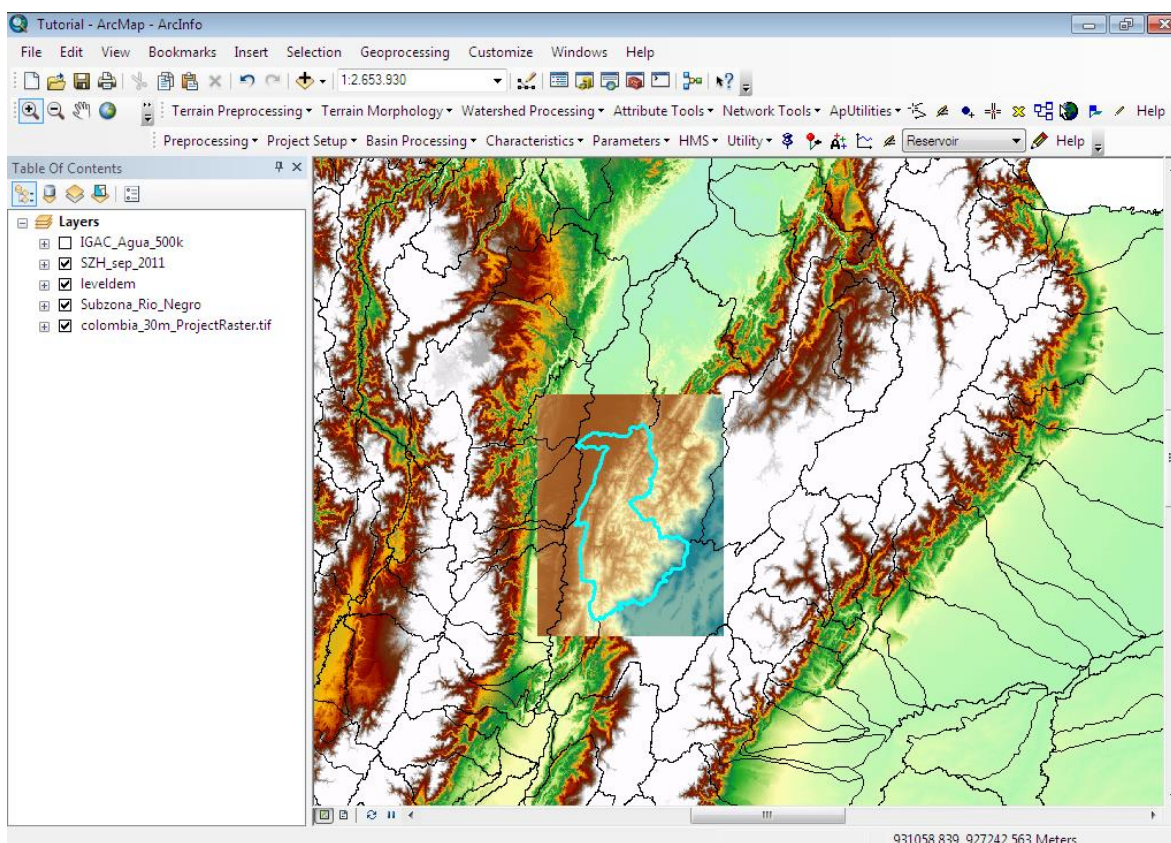
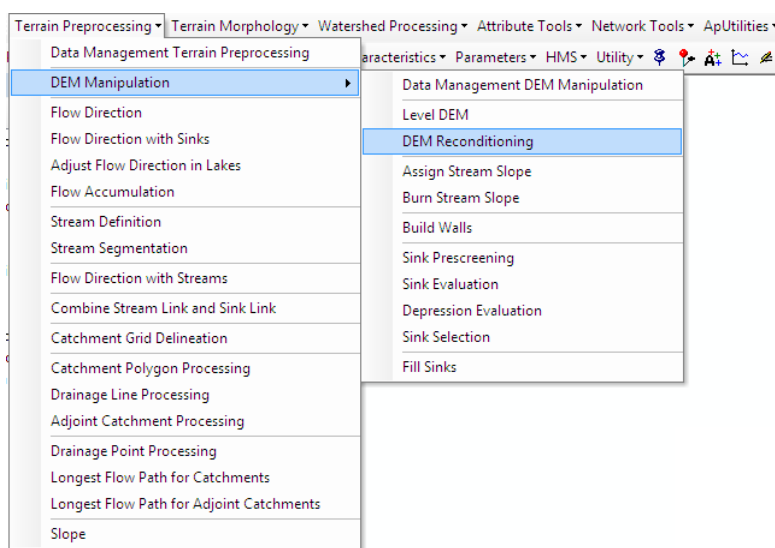




ILUSTRACIÓN 13. Level DEM



Terrain preprocessing- DEM Manipulation- DEM reconditioning



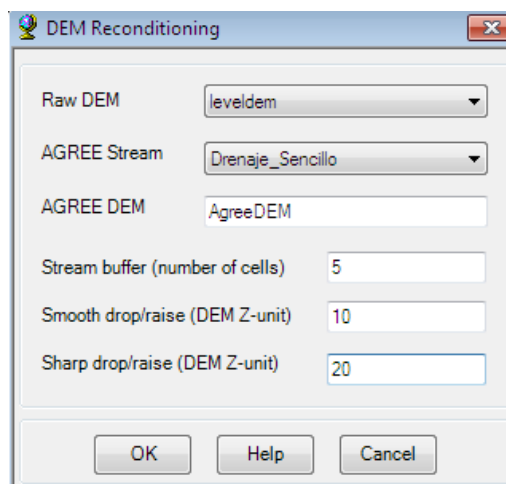
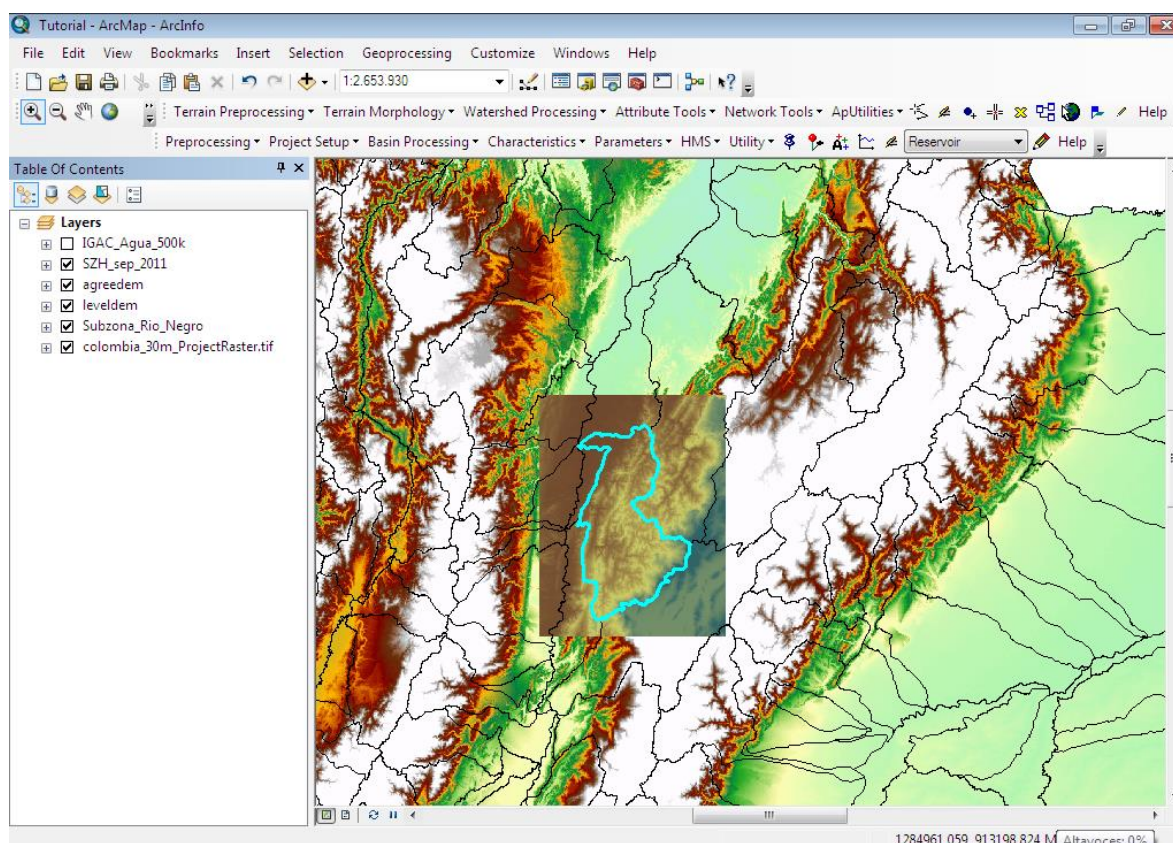


ILUSTRACIÓN 14. AgreeDEM





Terrain preprocessing- DEM Manipulation- Fill Sink

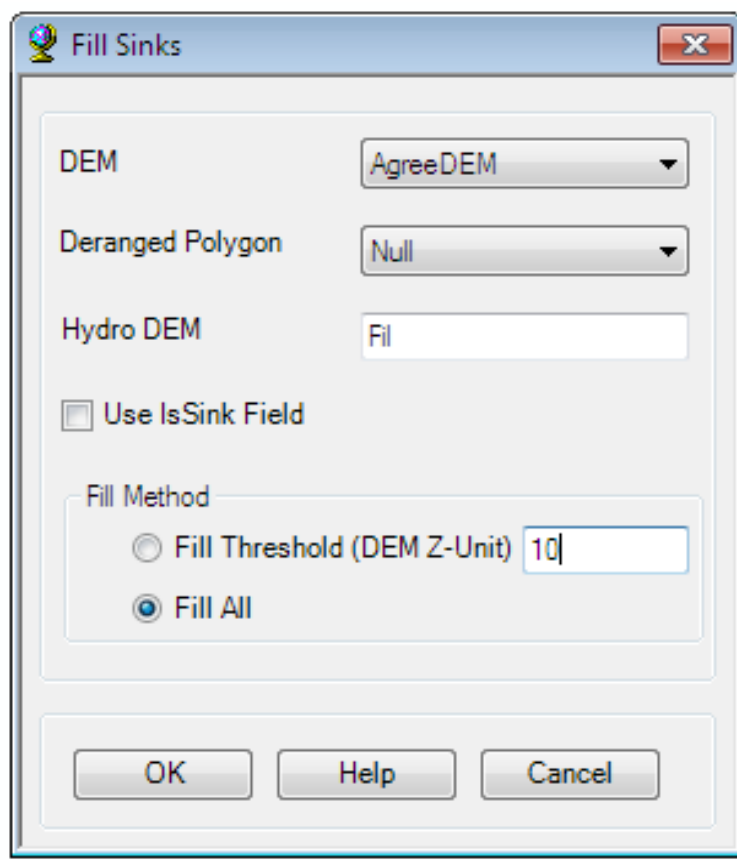
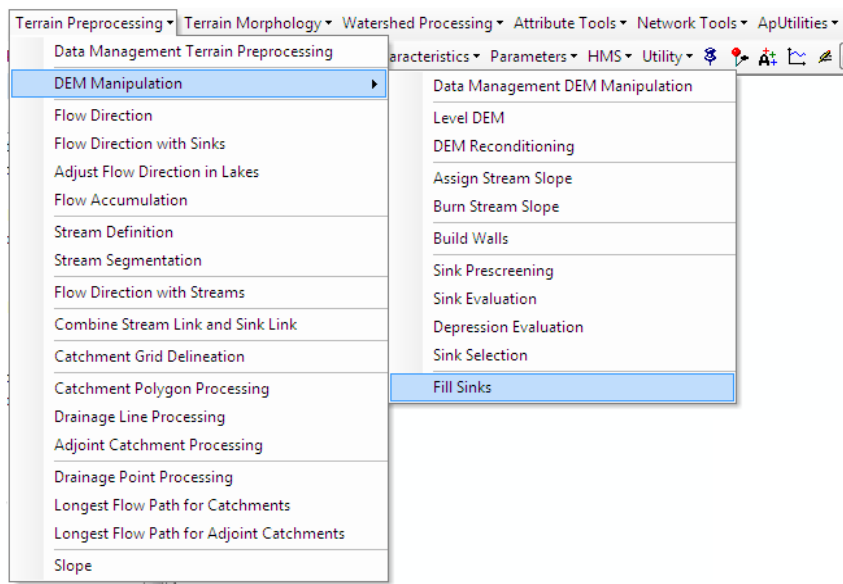
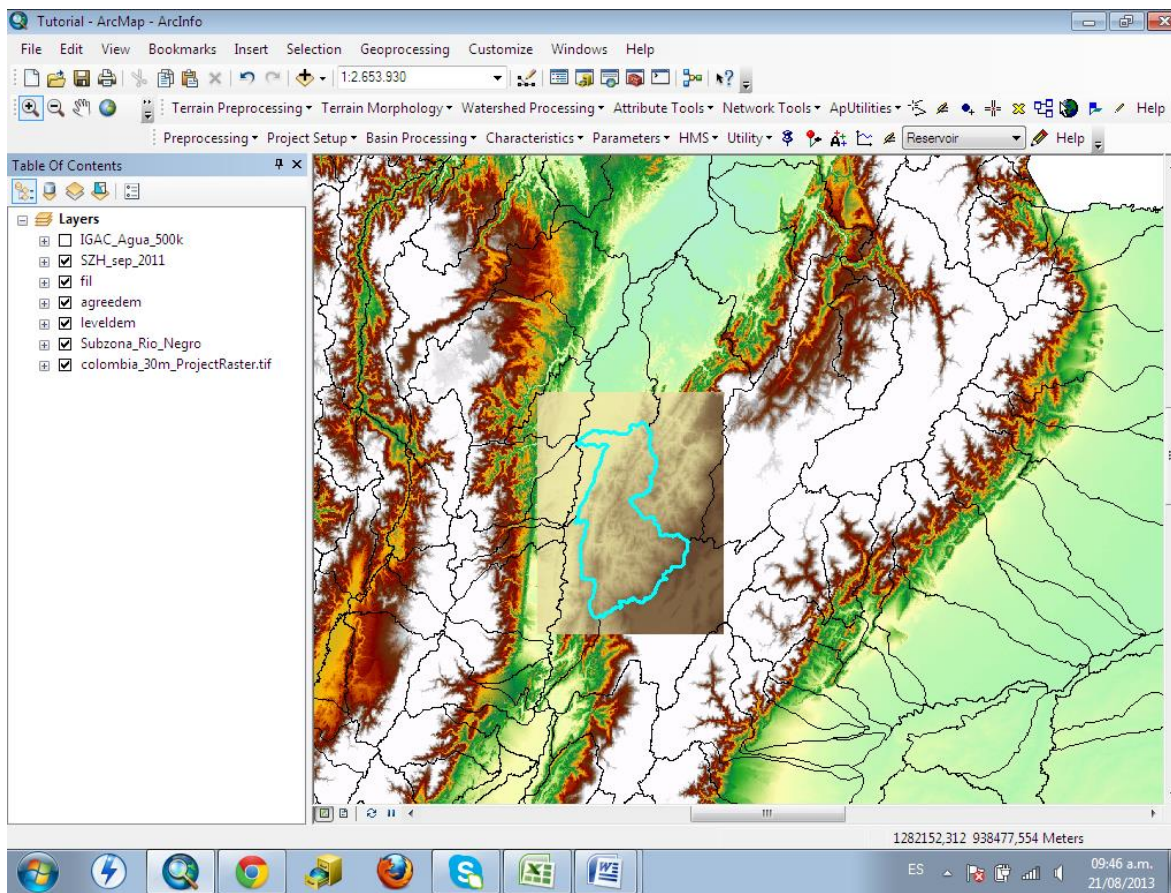


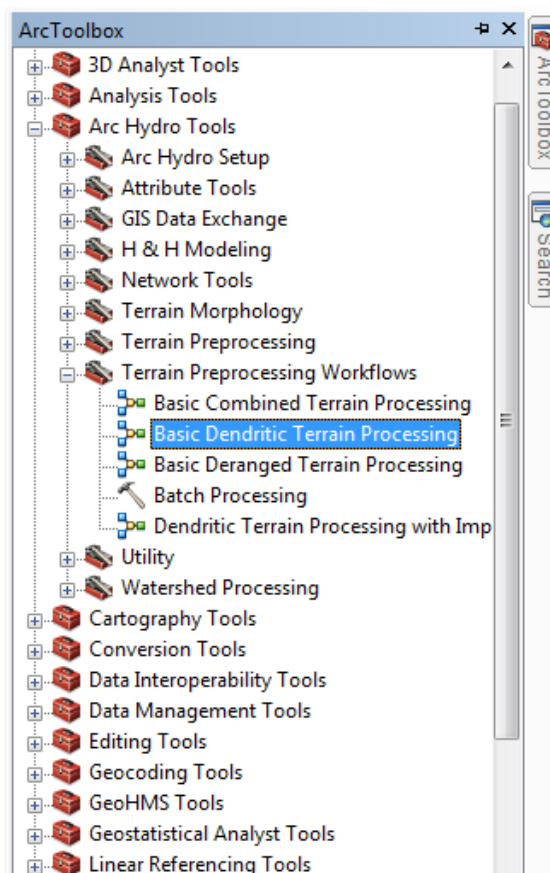


ILUSTRACIÓN 15. Fil

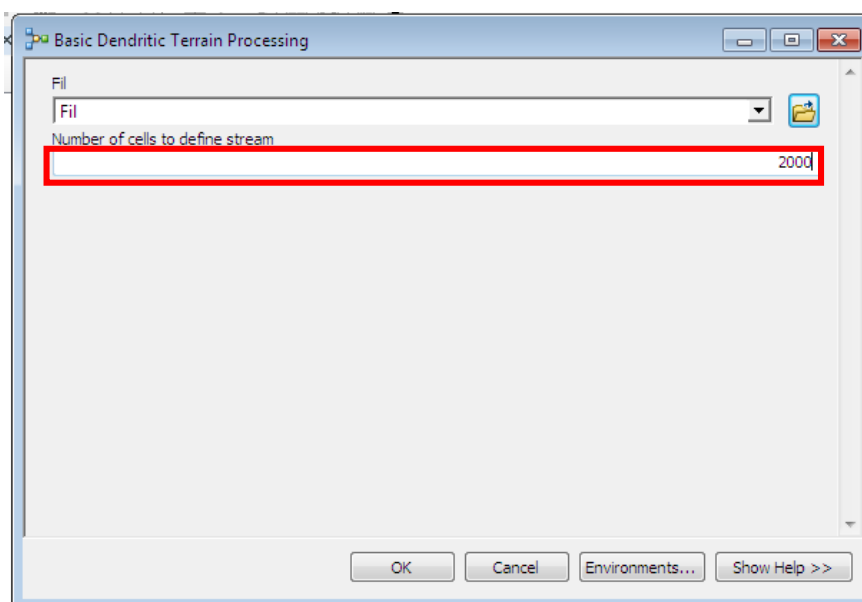




Arc Toolbox- Arc Hydro Tools- Terrain Preprocessing Workflows- Basic Dendritic

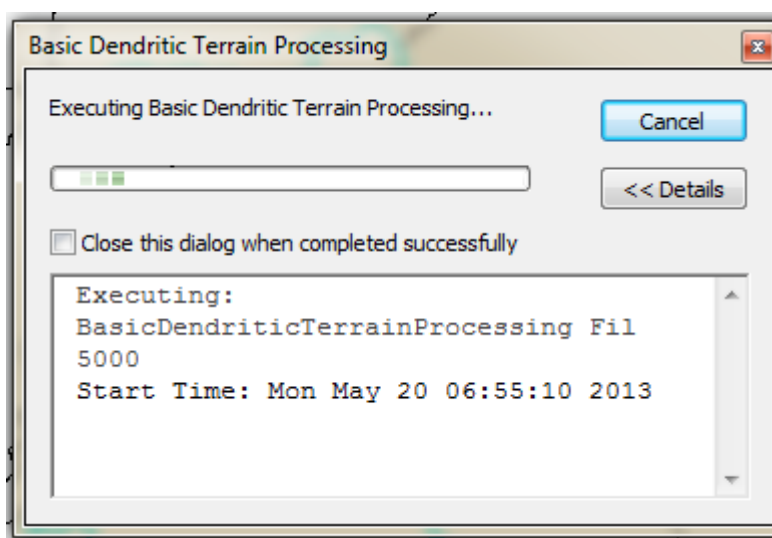


Después de dar este comando aparece la siguiente ventana:



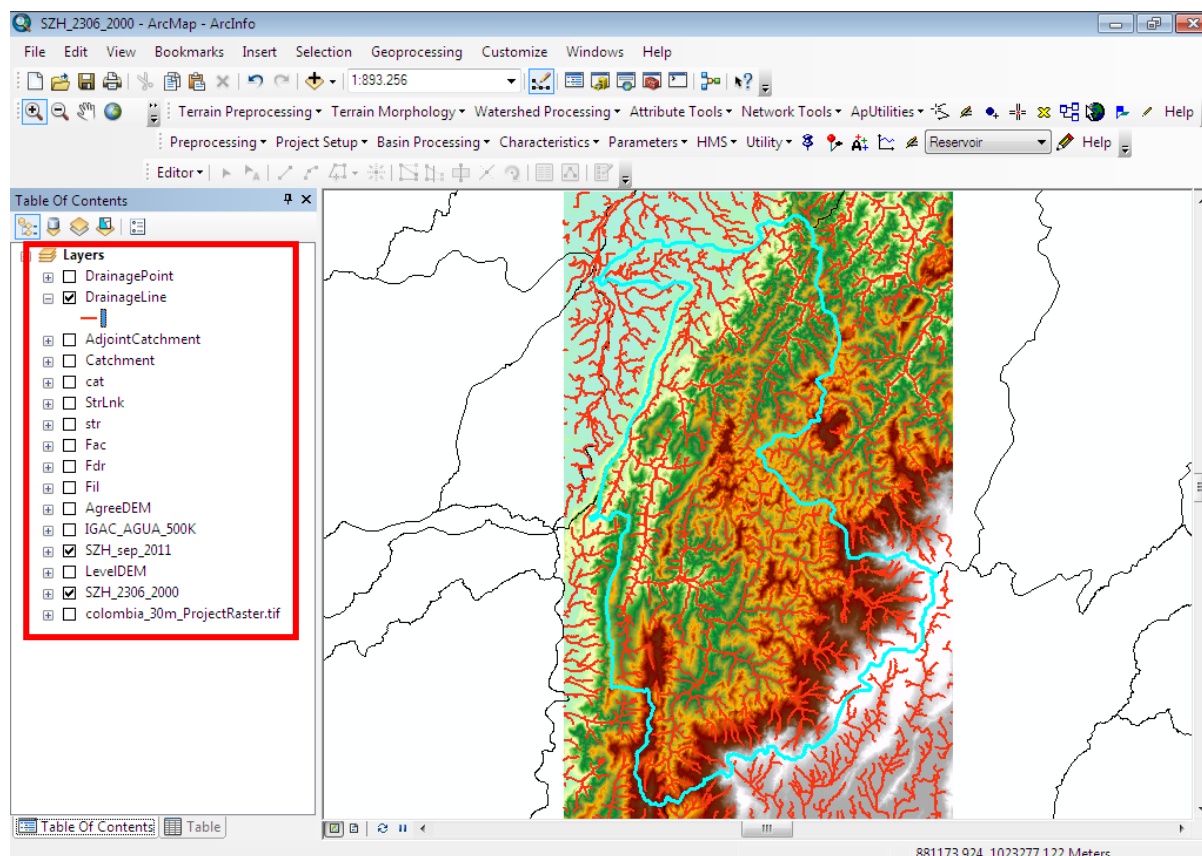


En la ventana anterior, aparece una casilla con un número 2000. Allí es donde se cambia la precisión del modelo que se va a generar ya que entre menor sea este número, el modelo será más preciso. Después de digitar el número de celdas, se le da OK y aparece la siguiente ventana indicando que el modelo de la red se está procesando.



El tiempo que tarda en concluir este proceso es inversamente proporcional al número de celdas.

Después de que el proceso concluye el listado final de atributos que tiene el modelo es el del cuadro rojo. Uno de ellos es Drenaje Lines, el cual representa los ríos del modelo que genero ARCGIS tal como se ve en los avances.

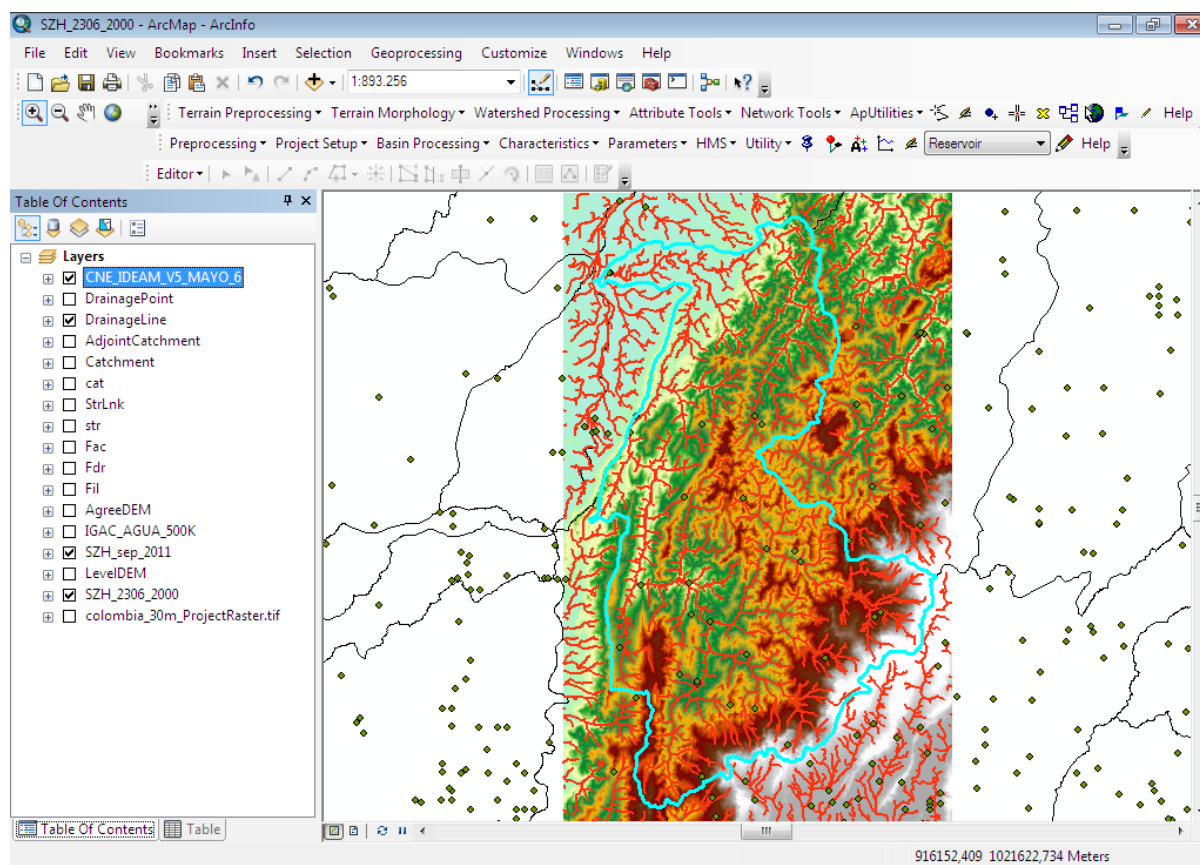


Insertar catalogo

Ir al icono adicionar y buscar el archivo CNE_IDEAM_V5_MAYO_6.shp



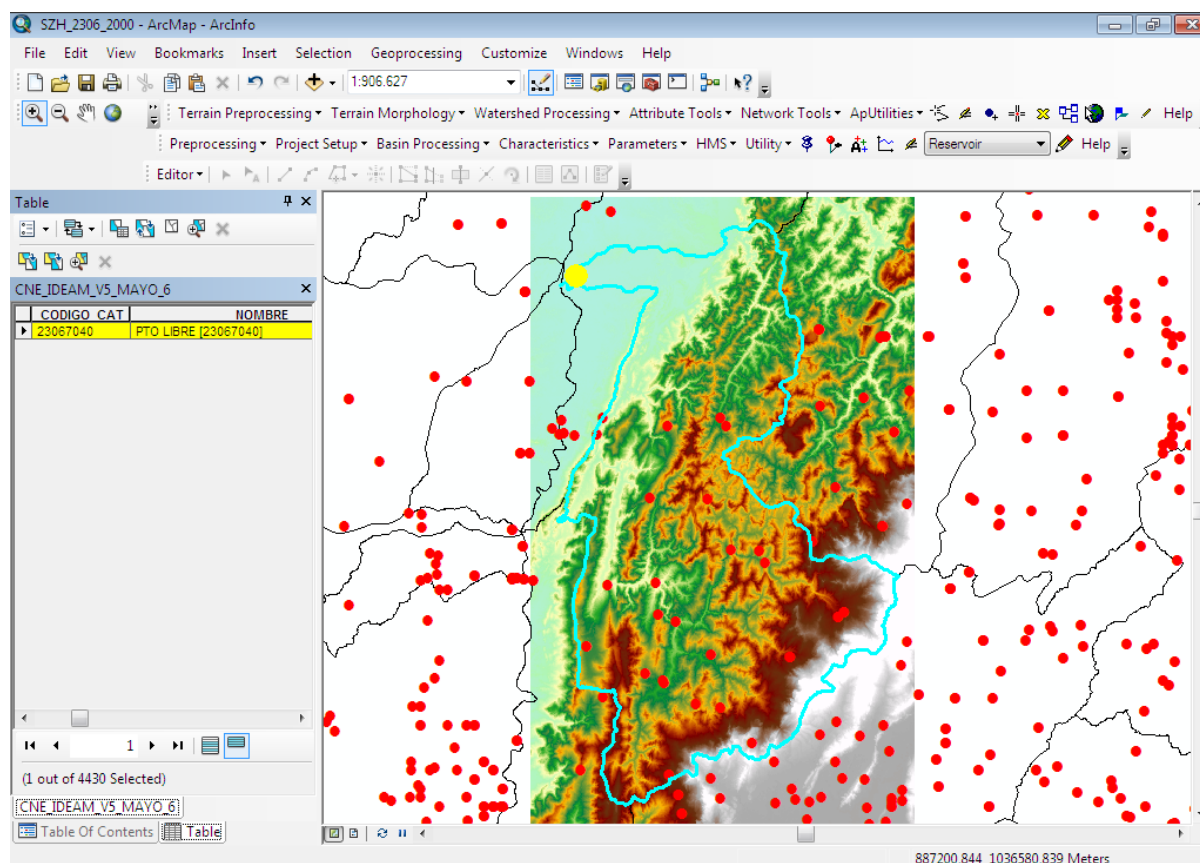
ILUSTRACIÓN 16. SZH 2306 una vez insertada las estaciones



Abrir la tabla de atributos de la capa y buscar la estación que se va a utilizar, en este caso se utilizara la estación 23067040 denominada Puerto Libre, debido a que esta estación se encuentra muy bien ubicada en la parte mas baja de la cuenca.

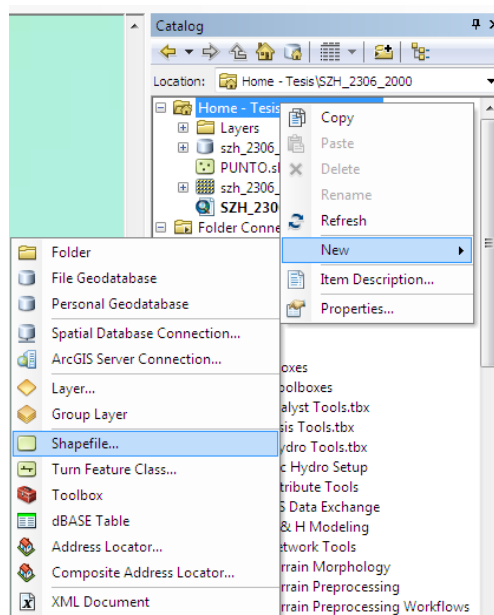


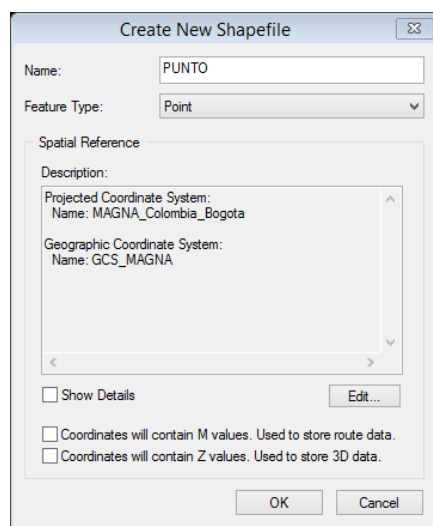
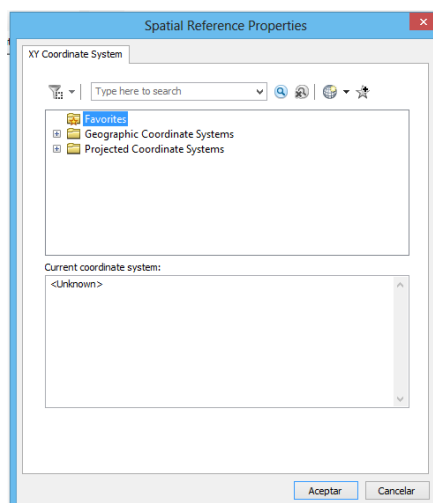
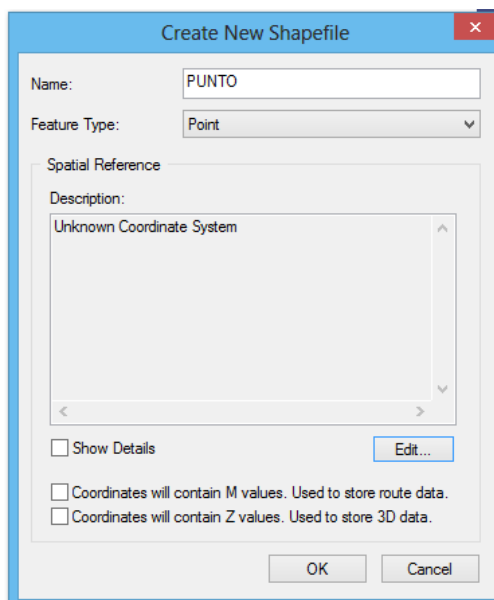
ILUSTRACIÓN 17. Selección de la estación Puerto Libre



Shape point and edition

Ir al catalogo y crear un nuevo punto

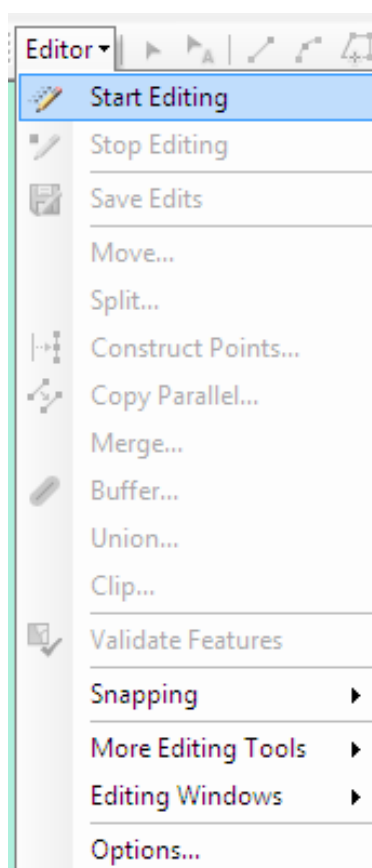






Escoger el tipo de coordenadas con la que se esta trabajando, en este caso se tomaran MAGNA_Colombia_Bogotá. Acontinuacion para localizar el punto al que drena la cuenca, este punto se encuentra ubicado en el mismo lugar de la estación Puerto Libre, con el fin de determinar el limite de la cuenca y hacer un hidrograma representativo de lo que se esta delimitando.

Ir a la barra editor- Start Editing



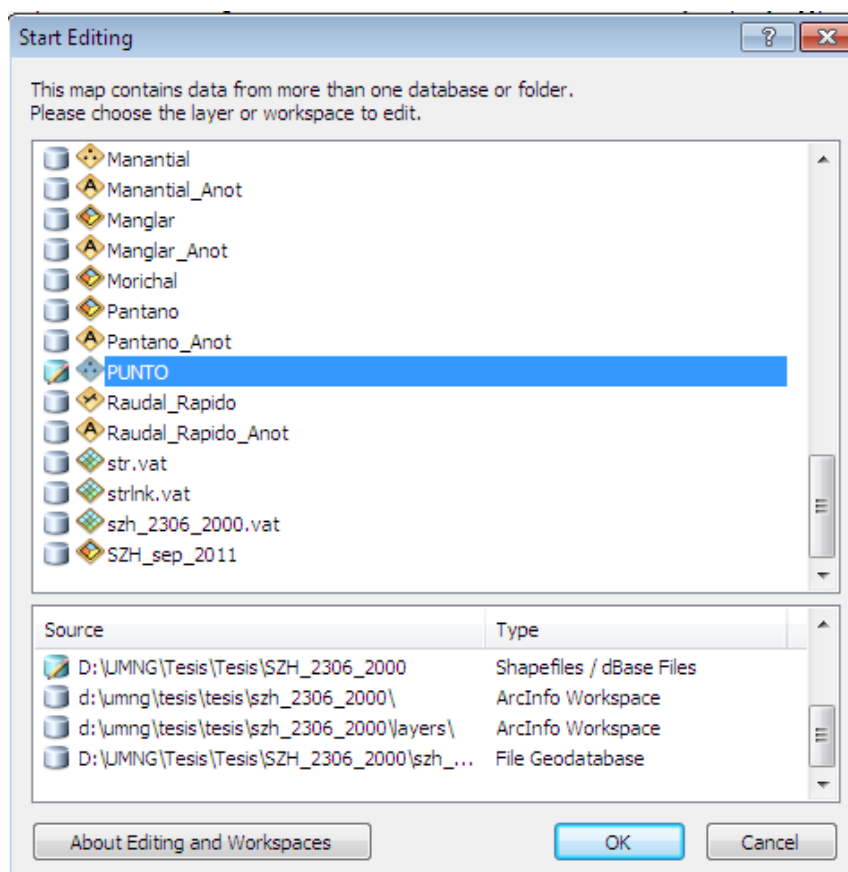
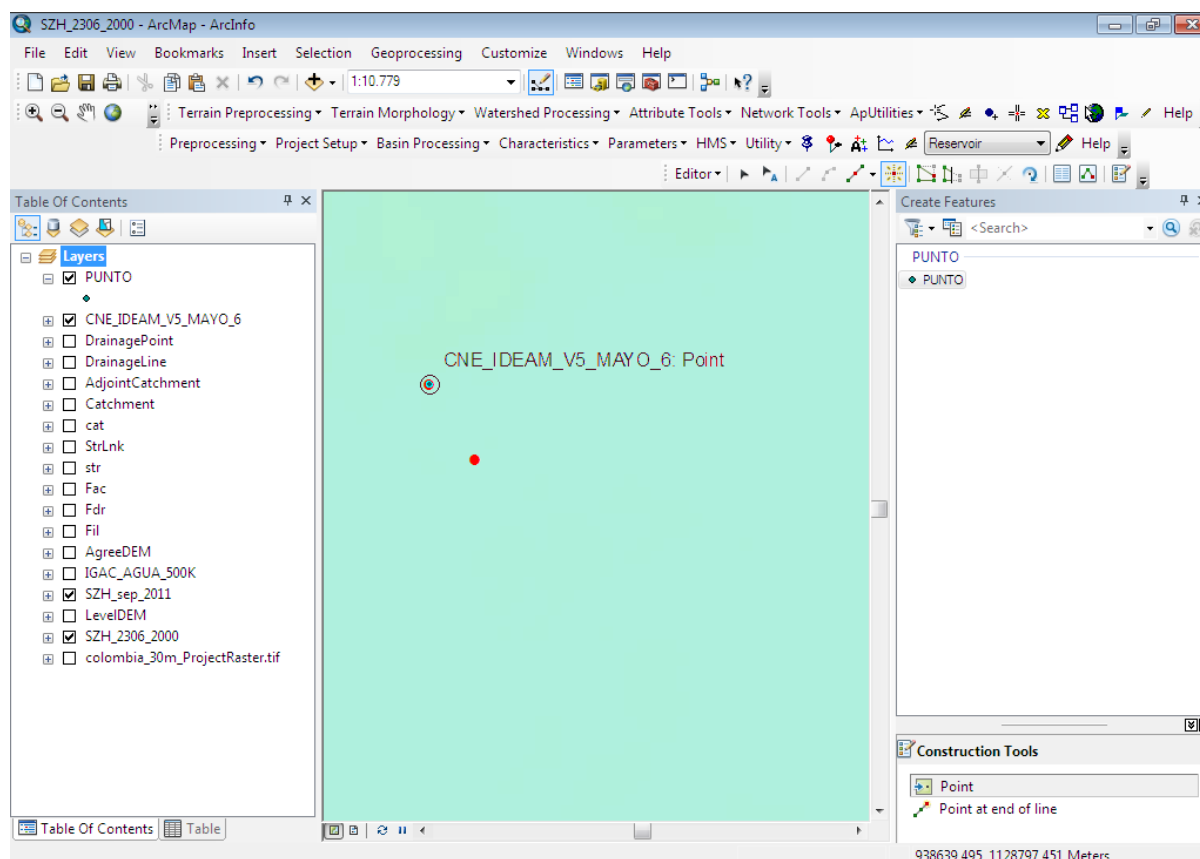
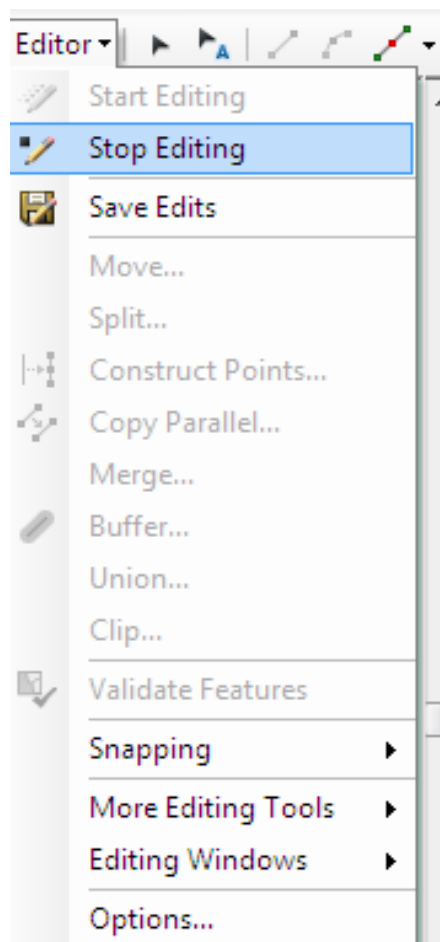




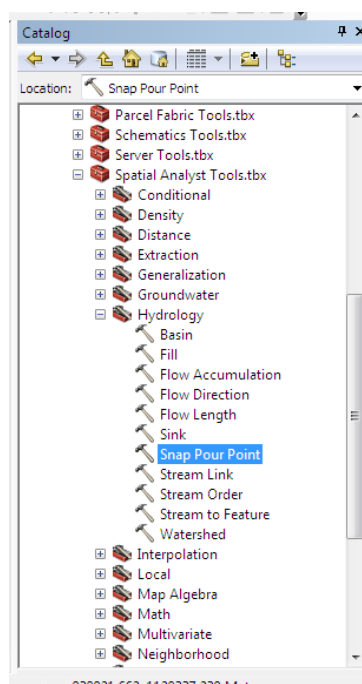
ILUSTRACIÓN 18. Selección del punto en la estación Puerto Libre

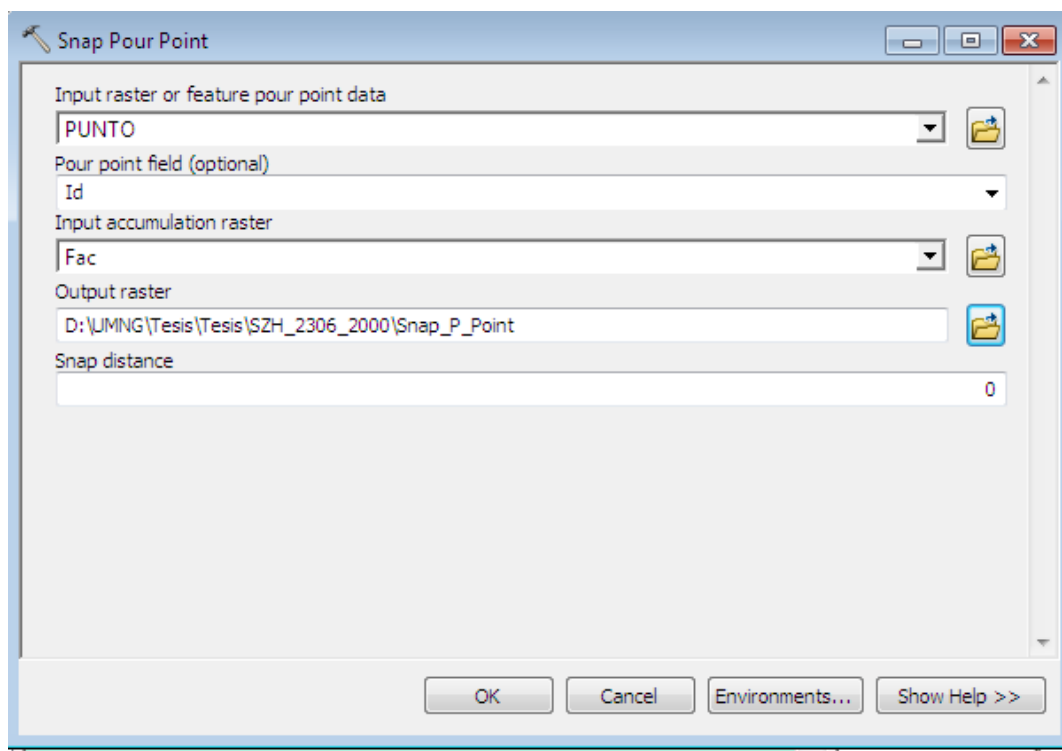


Ir a la barra editor- Stop Editing

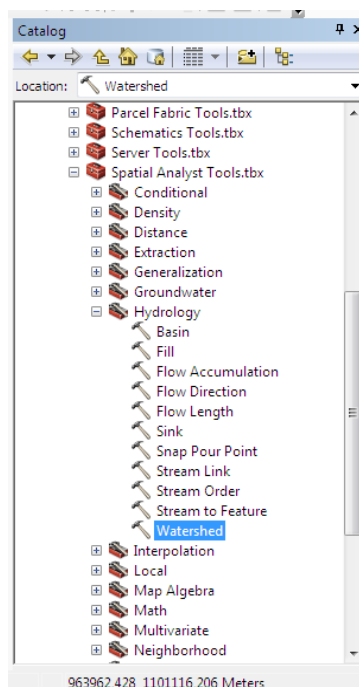


Spatial Analyst Tools – Hydrology – Snap pour point





Spatial Analyst Tools – Hydrology – Watershed



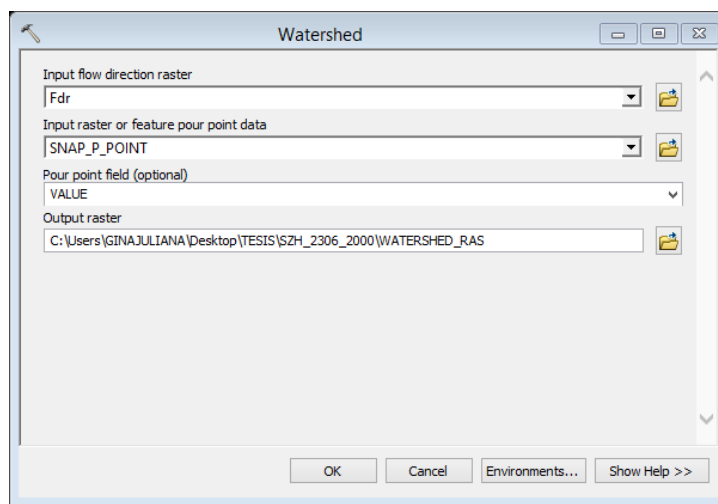
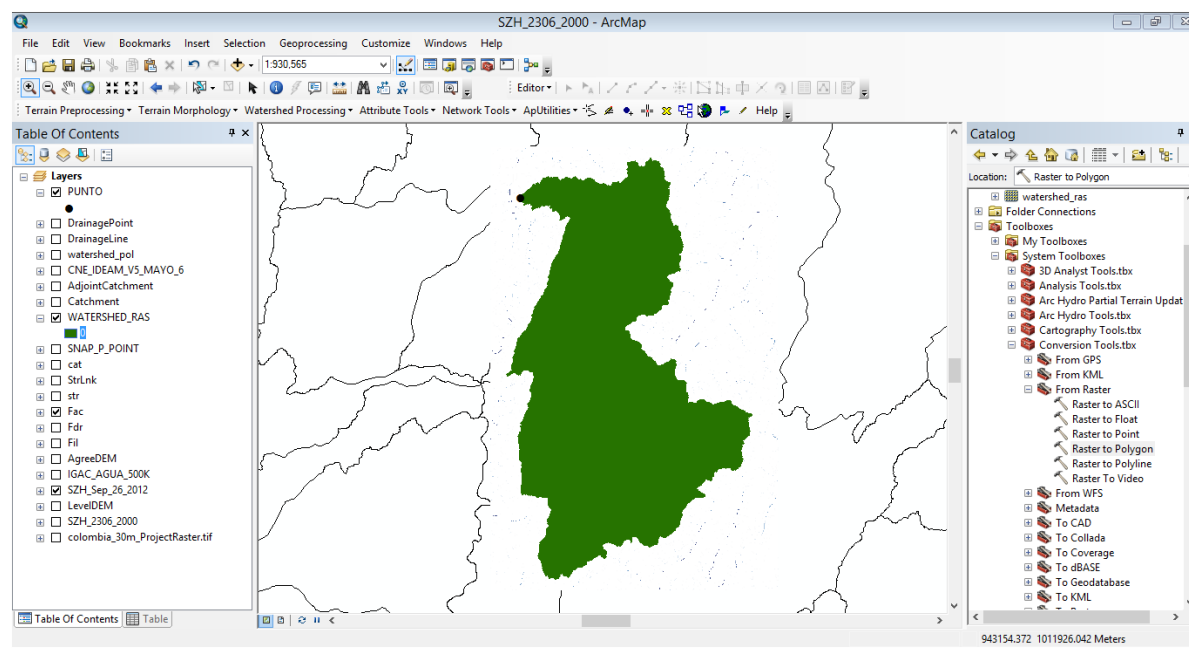
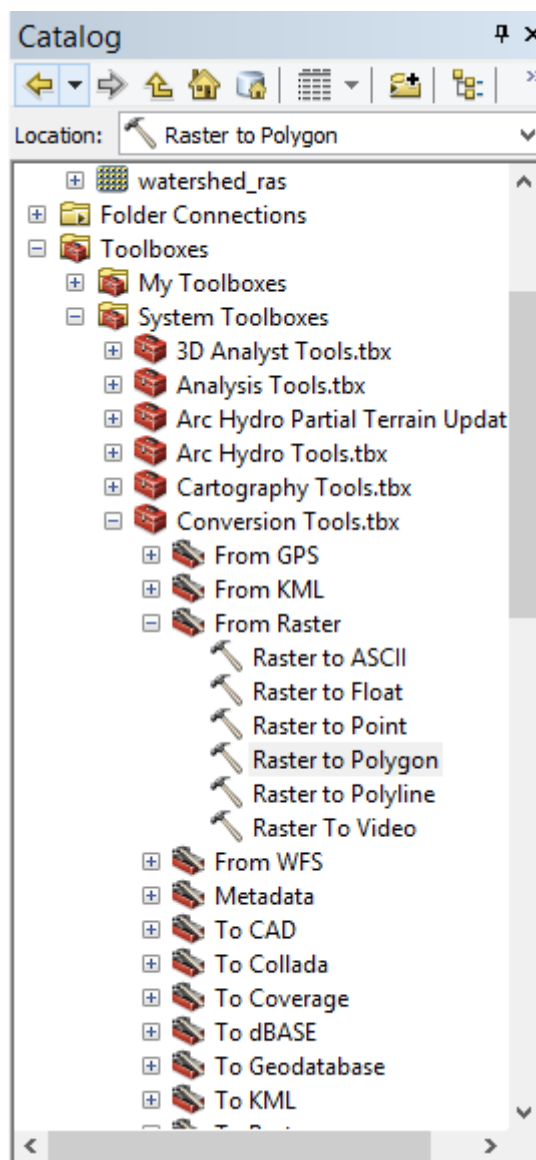


ILUSTRACIÓN 19. Delimitación de la cuenca desde el punto de la estación Puerto Libre



Conversion tools – From Raster – Raster to Polygon

Entrar a Conversion Tools' From Raster 'Raster to Polygon



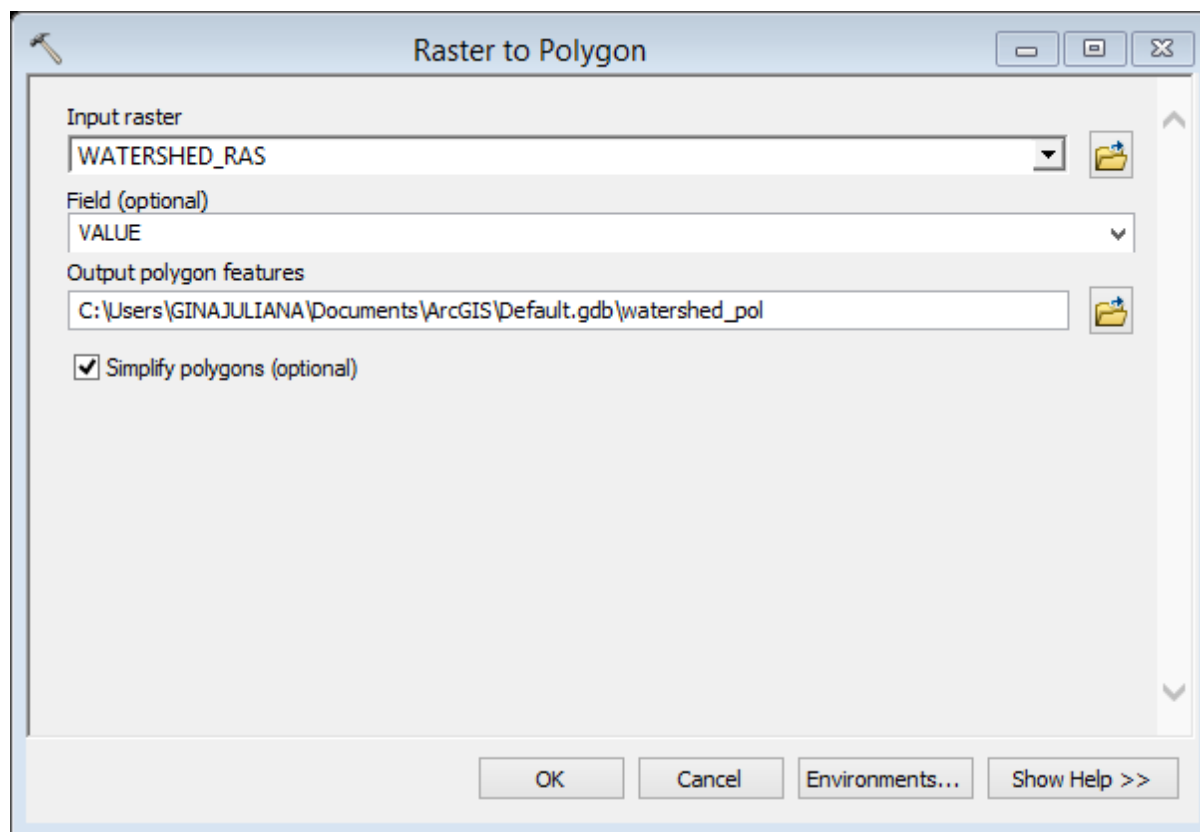
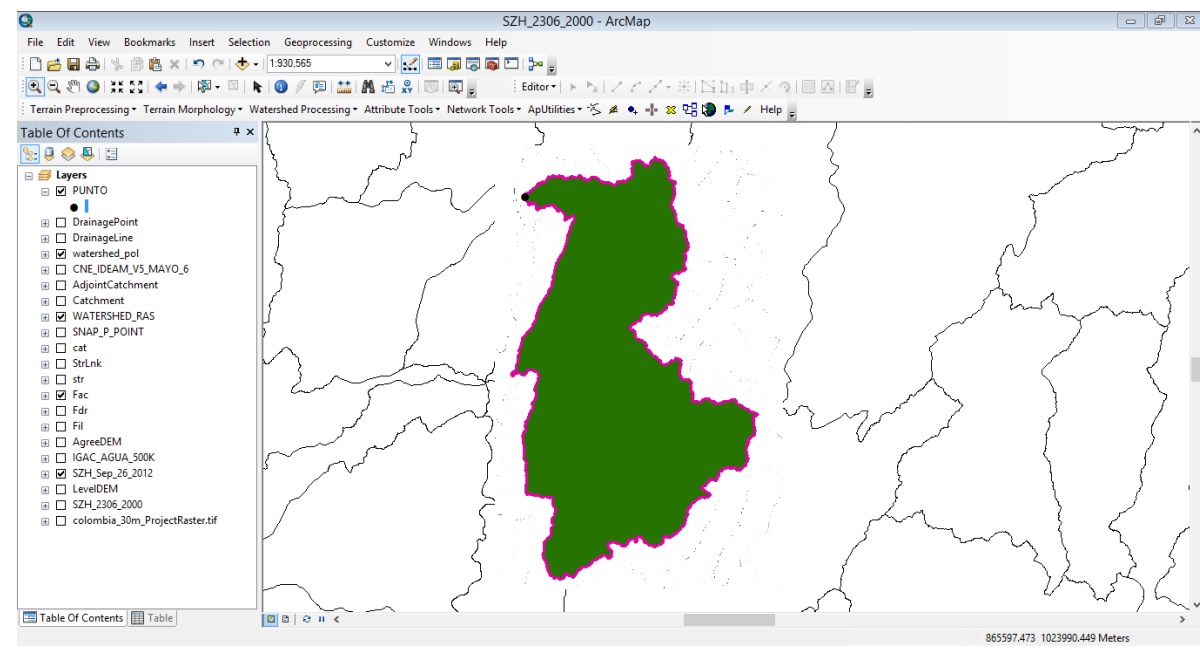


ILUSTRACIÓN 20. Conversión de Raster a Polígono



Spatial Analyst Tools – Extraction – Extraction by Mask

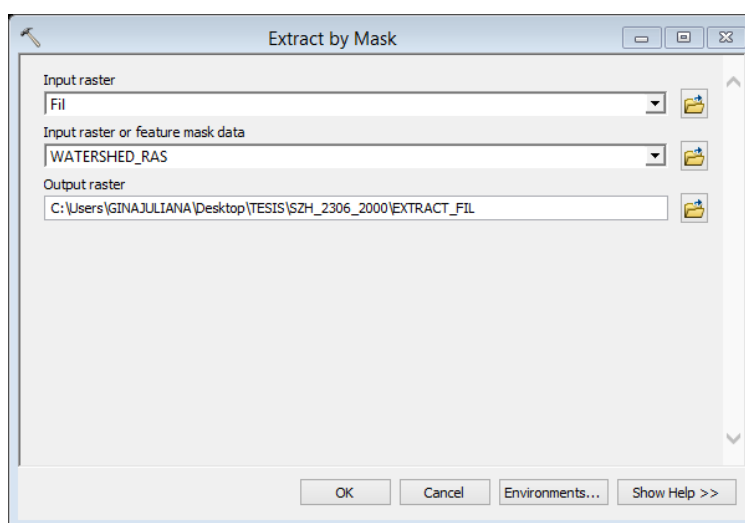
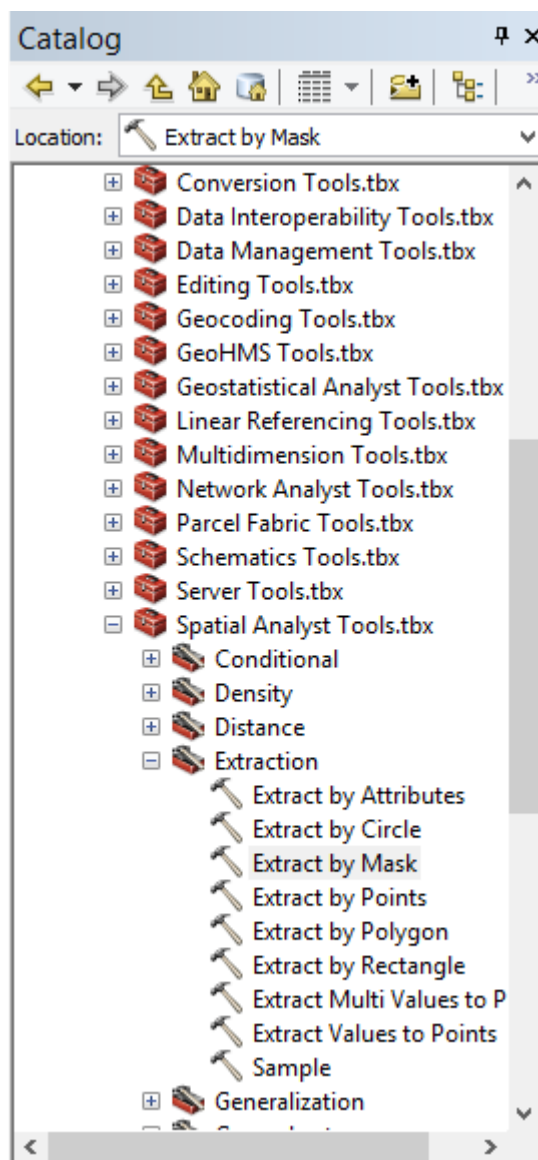
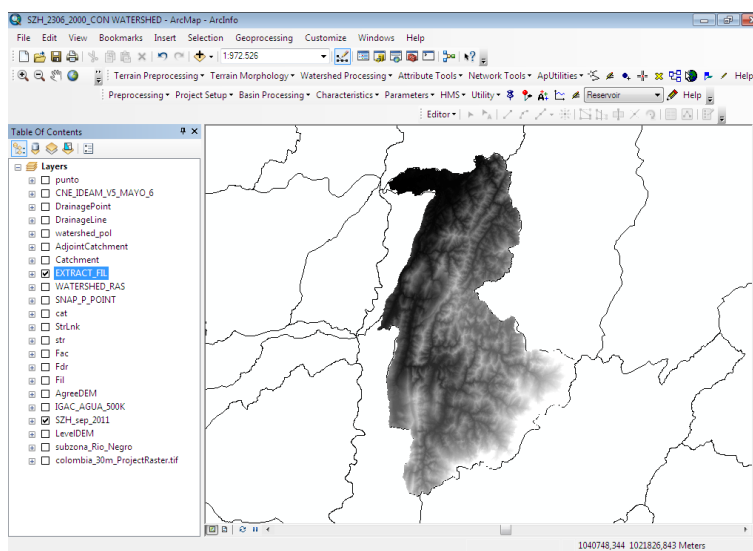
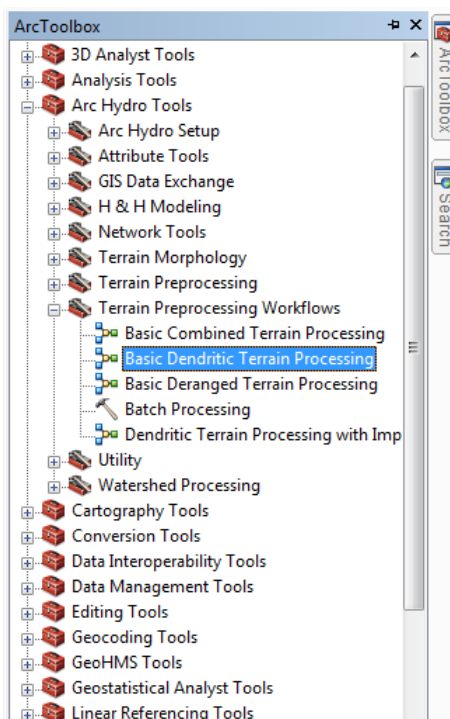


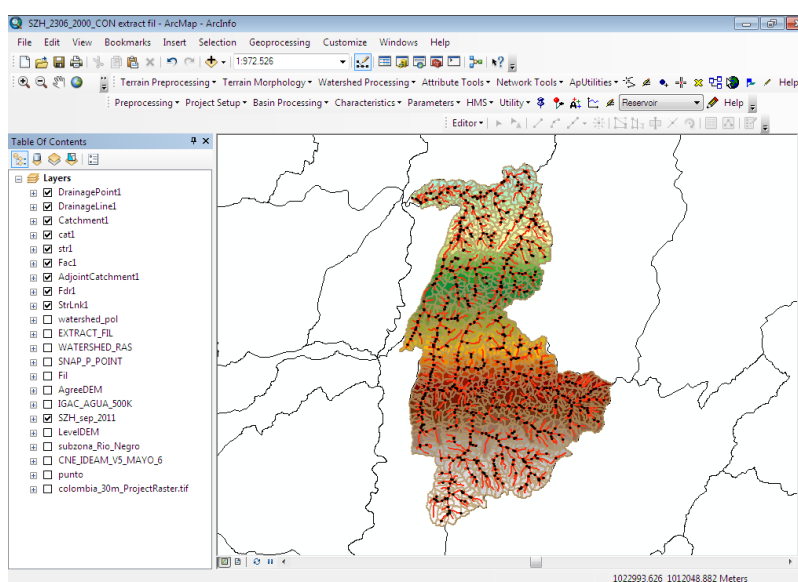
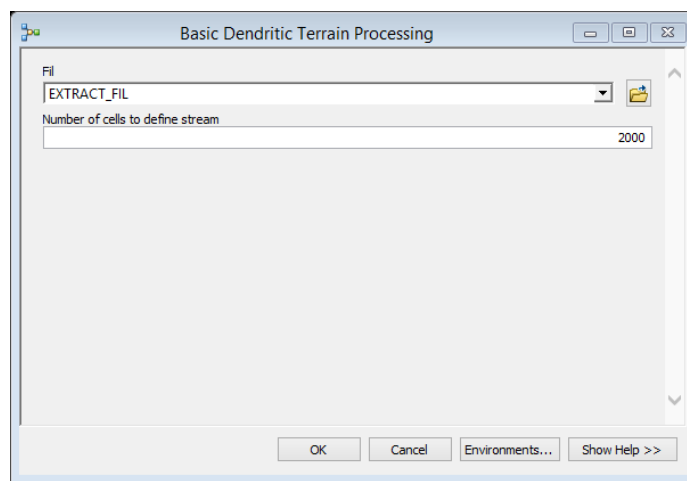


ILUSTRACIÓN 21. Extracción del Fil



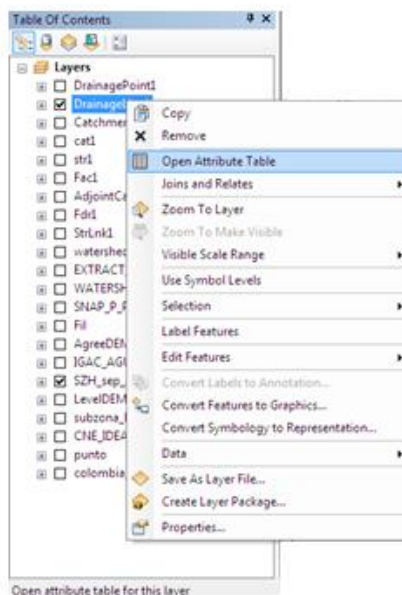
Arc Toolbox- Arc Hydro Tools- Terrain Preprocessing Workflows- Basic Dendritic Terrain Processing



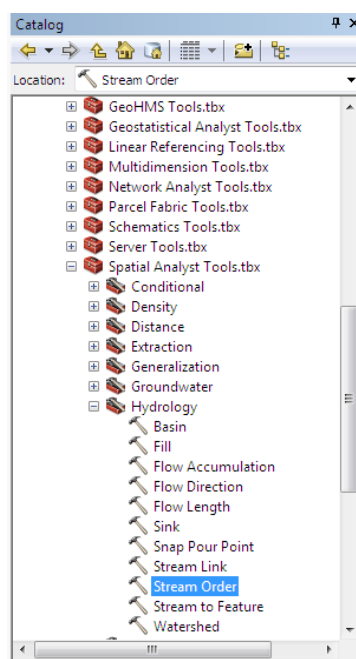


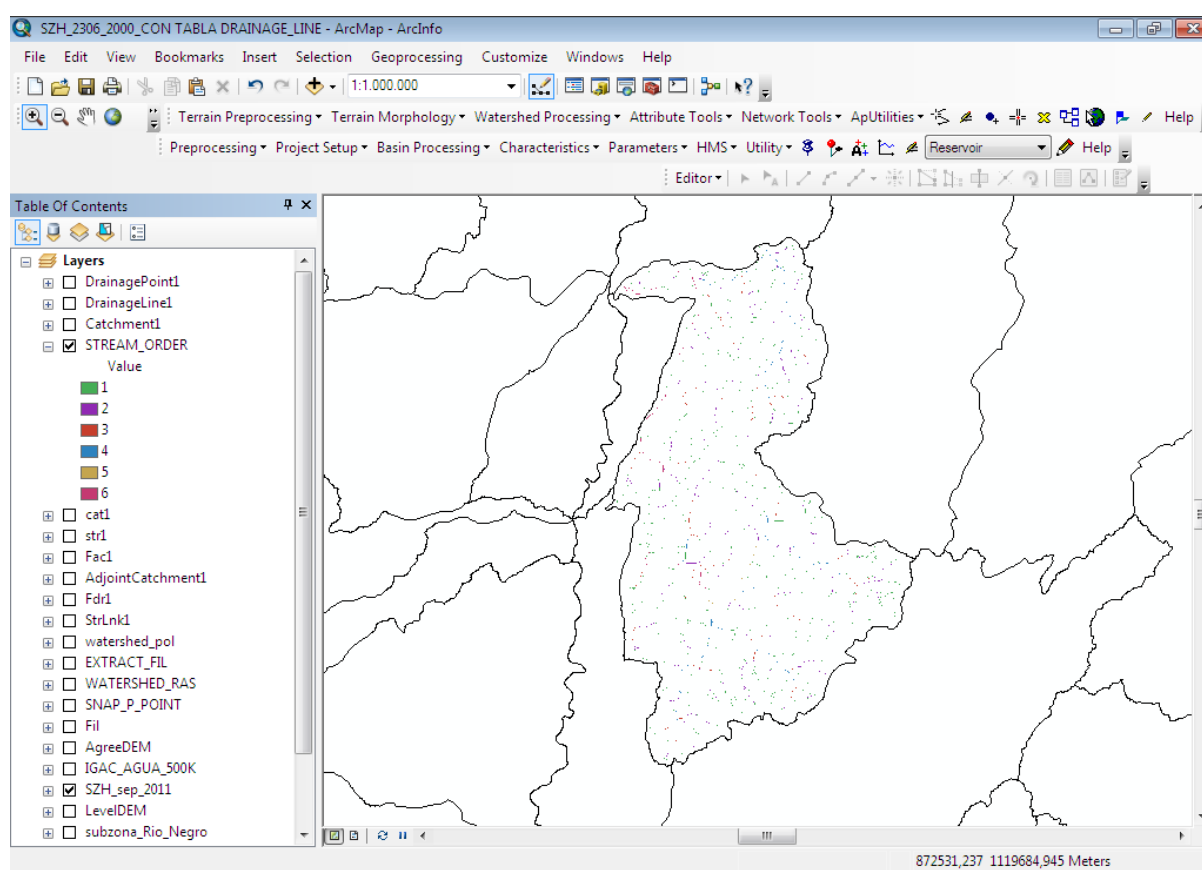
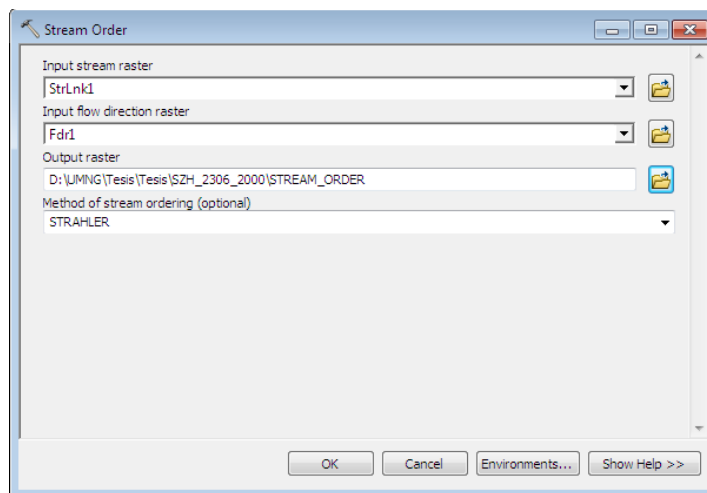
Export table Drainage Line to excel

Seleccionar el layer Drainage Line- click derecho – Open Atributte Table. Una vez se encuentre la tabla abierta, seleccionarla y copiarla en un archivo de Excel.

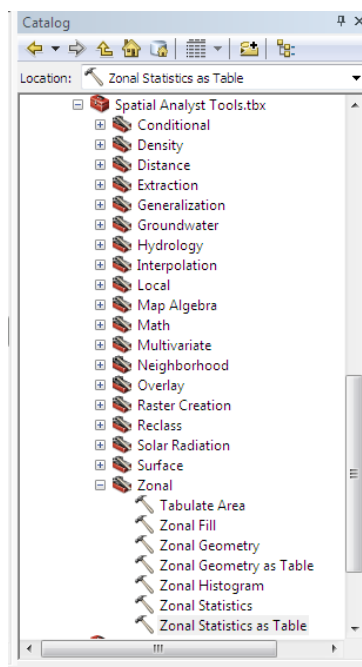


Spatial Analyst Tools – Hydrology – Stream order

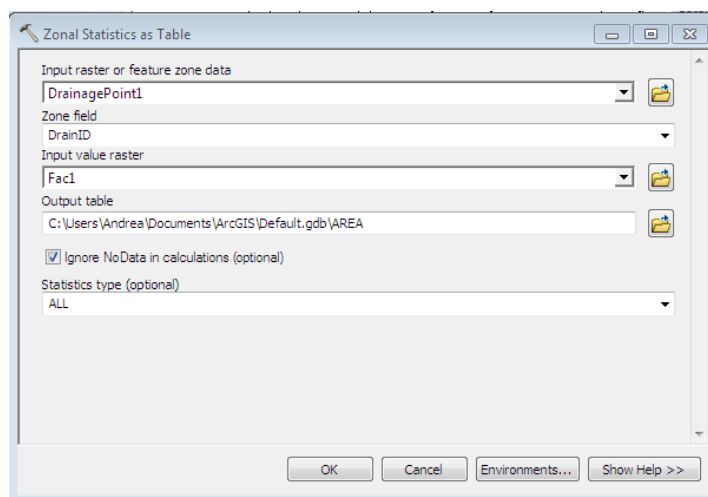




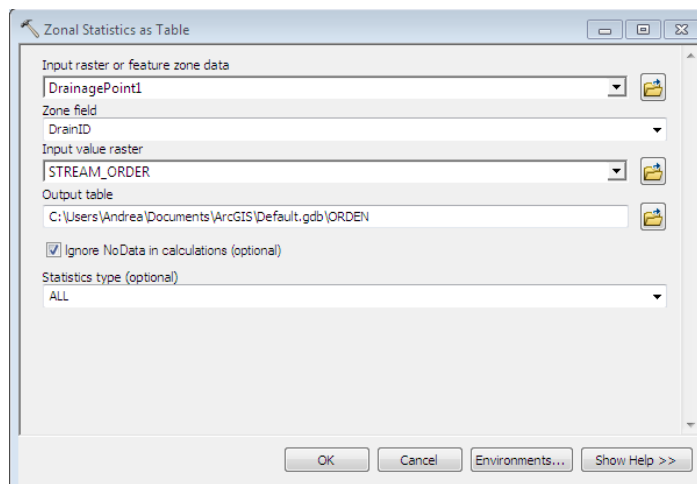
Spatial Analyst Tools – Zonal – Zonal Statistic as Table



PARA ÁREA



ORDEN





14 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El aspecto más destacado de este proyecto se enmarca en la construcción de una metodología para su desarrollo, tratando de optimizar los procesos de la mejor manera posible, mediante el uso de SIG, y otros programas alternativos como MatLab y Excel, pues es claro que cada día la sociedad ofrece herramientas novedosas que permiten simplificar tareas arduas y es de gran importancia hacer uso de ellas.

La hidrología es una ciencia cuyo problema principal es resolver el ciclo hidrológico, razón por la cual, es de gran importancia contar con diferentes propuestas investigativas para contribuir y además resolver no sólo problemas hidrológicos sino sociales, ya que con alternativas de este tipo, donde si se logra una buena calibración de parámetros geomorfológicos de una cuenca se puede estimar el tiempo al pico y el caudal al pico, sin tener como en nuestro país un monitoreo constante debido a falta de instrumentación, será un poco más viable diseñar, construir y diagnosticar la vulnerabilidad de ciertos sectores, para mejorar la calidad de vida de muchas generaciones futuras.

La metodología empleada se consolida después de realizar varios ensayos en ArcGIS con diferentes parámetros de entrada como se explicó a lo largo del documento, para finalmente tomar como base el Paper de *Rodríguez-Iturbe et al. [1979]*, y la Hidrología como tal y analizar los resultados que se obtuvieron:

Como se observa los datos de caudal ajustan con un coeficiente de determinación $R= 0.997$, esto demuestra el desempeño del modelo, sin embargo cabe resaltar que los tiempos al pico presentan mal ajuste debido a las diferentes velocidades usadas para determinar los parámetros del hidrograma unitario.

Es importante destacar que aunque se utilizaron diferentes velocidades para obtener los diferentes caudales y tiempo al pico, por lo menos el 50% de los valores utilizados de velocidad están dentro del rango de 3,7 a 4,1, lo cual podría indicar que los valores para esta cuenca se



encuentran dentro de este rango, pero esta investigación debería hacerse en trabajos futuros, ya que no se encuentran dentro del alcance de este proyecto.

Los datos obtenidos para la valoración de aspectos morfométricos de la cuenca del Rio Negro nos indican que su forma es predominantemente alargada, lo que influye en la eficiencia del sistema para actuar al momento de evacuar la lluvia en exceso, de igual manera analizando su densidad de drenaje nos indica que esta cuenca es pobremente drenada, indicando de esta manera que la respuesta que tendrá la cuenca ante una ocurrencia de lluvias será lenta, evitando que la evacuación del agua sea de forma rápida. Esto tiene gran influencia en la dinámica de la cuenca, ya que permite deducir que su potencial erosivo es bajo.

| Número de celdas | Densidad de drenaje | Indice de compacidad |
|------------------|---------------------|----------------------|
| 500 | 0,96308 | 1,92 |
| 1000 | 0,68005 | |
| 2000 | 0,48540 | |
| 5000 | 0,30906 | |
| 10000 | 0,25353 | |
| Promedio | 0,53823 | |

Los números de Horton en esta cuenca varían de la siguiente manera: entre 2,1 y 2,5 para RL, entre 3,7 y 4,4 para RA y entre 3,4 y 4,1 para RB, y para la cuenca delimitada hasta la estación de Colorados RL es 1,9; RA es 3,8 y RB es 3,6; pero todos están dentro de los rangos establecidos en el paper de *Rodríguez-Iturbe et al. [1979]*.

El principal inconveniente que se presenta durante la realización del proyecto se encuentra en la disponibilidad de datos suministrados por las entidades y dispositivos como los limnógrafos, puesto que se encontró que la estación Puerto Libre se encuentra ubicada en un sitio predilecto para el estudio pero no contaba con la información necesaria para la realización de los hidrogramas unitarios, es por esto que se tuvo que escoger una estación alterna que tuviera los suficientes datos para continuar con el proyecto.

Teniendo en cuenta que dentro del alcance de este trabajo no está la validación y profundización en la formulación matemática desarrollada para el Hidrograma unitario instantáneo geomorfológico, se recomienda que en trabajos futuros se enfatice este tema, ya



que es una buena alternativa para contribuir con los problemas hidrológicos con que se cuenta en la actualidad y sería un gran aporte para continuar camino a la investigación.



15 BIBLIOGRAFÍA

Armando, D. N. (Marzo de 2009). *Plan de manejo ambiental para atención de desastres por inundación en la quebrada Samabá, inspección de Talauta municipio del Peñon.*

Obtenido de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/proyecto%20final%20carlos%20diaz%203.pdf>

Chow, V. T. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá - Colombia: Mac Graw Hill.

Corporacion Autonoma Regional de Cundinamarca (CAR). (02 de Septiembre de 2011). *Estudio de diagnostico, Prospectiva y formulación cuanca Rio Negro*. Recuperado el 2013, de <http://www.car.gov.co/?idcategoria=17148>

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Corporación Autónoma Regional de Boyacá. (27 de Febrero de 2009). *Resolución 327, Pro medio de la cual se aprueba el Plan de Ordenación y Manejo de la cuanca de Río Negro, en jurisdicción de la CAR.*

Obtenido de http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=cuenca%20hidrografica%20rio%20negro%20cundinamarca&source=web&cd=12&cad=rja&ved=0CCwQFjABOAO&url=http%3A%2F%2Fwww.nuevaleislacion.com%2Ffiles%2Fsusc%2Fcdj%2Fconc%2Frcar_corbyc_327_09.doc&ei=3pDgUazoMnfh4AOjw4C4A

Gracia Martha, S. F. (s.f.). *El agua*. Obtenido de <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/000001/cap4.pdf>

Gutiérrez, E. C. (16 de Enero de 2013). Delimitación de Cuencas Hidrograficas con ArcGIS 10. Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga, Ayacucho, Perú. Obtenido de <http://www.youtube.com/watch?v=ln7p8hONV9o>



- Hoyos, S. P. (2011). *Plan de competitividad y desarrollo económico de la provincia de Magdalena Centro*. Obtenido de http://www.urosario.edu.co/urosario_files/17/17c4fee0-72f3-4f12-8fc7-7dad857bc67f.pdf
- Hoyos, S. P. (2011). *Plan de competitividad y desarrollo económico de la provincia de Gualiviá*. Obtenido de http://www.urosario.edu.co/urosario_files/37/37187103-b9dd-4593-9e64-325741d7bcc3.pdf
- Hoyos, S. P. (2011). *Plan de competitividad y desarrollo económico de la provincia de Rio Negro*. Obtenido de http://www.urosario.edu.co/urosario_files/06/0687d1df-f0ec-4463-8894-f51ddd955de4.pdf
- Ignacio, R. I. (1979). The geomorphologic structure of hydrologic response. *The American Geophysical Union*, 15(06), 1409-1420.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2013). *Catalogo de estaciones hidrológicas*. Bogotá.
- López Obregón Clara, A. O. (2011). *Actualización del diagnóstico de la región capital: Bogotá-Cundinamarca*. Obtenido de http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/SeguimientoPoliticasyPoliticaIntegracionRegional/Banco%20de%20Documentos%20de%20Integracion%20Regional/bancoDocumentos/dirni_diagnosticoregioncapital.pdf
- Maidment, D. R. (2002). *ArcHydro GIS for water resources*. New York Street 380, Redlands, California USA: ESRI.
- Mauricio, B. (06 - 07 de Octubre de 2010). *Caracterización hidrológica de los ríos en Colombia*. Obtenido de



http://www.minambiente.gov.co/documentos/DocumentosBiodiversidad/recurso_hidrico/131010_ideam.pdf

Medina, G. A. (1998). *Hidrología Básica*. Santafé de Bogotá: Unidad de publicaciones de la facultad de ingeniería Universidad Nacional de Colombia.

Mijares, F. J. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México, D.F.: Limusa S.A.

Reyes Trujillo Aldemar, U. B. (2011). *Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Cali - Colombia: Universidad del Valle.

Sáenz, G. M. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería.