

**MANUAL PARA EL MODELADO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS
DISTRIBUIDAS SOPORTADO EN SIG**

JULY PAOLA RODRÍGUEZ ORTIZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2012

**MANUAL PARA EL MODELADO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS
DISTRIBUIDAS SOPORTADO EN SIG**

JULY PAOLA RODRÍGUEZ ORTIZ

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Civil

Director

LUIS ALBERTO CAPACHO SILVA

Ingeniero Civil M. Sc.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

Este logro es dedicado a mi madre: Luz Marina Ortiz Arévalo, quien es mi amiga fiel de lucha, con su permanentemente apoyo y su espíritu alentador, contribuyendo incondicionalmente a lograr mis metas y objetivos propuestos, al brindarme con su ejemplo a ser perseverante y darme la fuerza que me impulsó a conseguir este logro.

AGRADECIMIENTOS

En este largo proceso de crecimiento profesional y personal quiero agradecer principalmente a Dios, por permitirme aprender de mis compañeros y profesores para ser la persona que soy; a mis padres, hermanos, tíos, abuelos y amigos por entenderme y apoyarme, a mi tío Rubén por creer en mí, a INTERPRO S.A.S, HELMER PARDO, BURGUER PIZ, que me apoyaron cuando los necesite, a Luis David Rodríguez y Margie Nataly Cortez que estuvieron en el momento que mas los necesité: sufrimos y corrimos para terminar este gran logro.

CONTENDIO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO TEÓRICO	18
1.1 SIG.	19
1.2 PRECIPITACIÓN	20
1.3 FLUJO SUPERFICIAL DE SATURACIÓN	22
1.4 EXCESO DE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA DIRECTA	22
1.5 ÁREA SUBSIDIARIA	23
1.6 VEGETACIÓN	23
1.7 TOPOGRAFÍA	24
1.8 RED DE DRENAJE	25
1.9 TIPO Y USO DE SUELO	26
1.10 NÚMEROS DE CURVA (CN)	27
2. PALABRAS CLAVES	29
3. PREÁMBULO	30
4. MANUAL	31
4.1 BASES PARA INICIAR	31
4.2 PROCESO CUENCA	39
4.2.1 Celdas Bajas	39
4.2.2 Llenado de depresiones	40
4.2.3 Dirección de Flujo	41
4.2.4 Flujo Acumulado	44

4.2.5 Red de Drenaje	46
4.2.6 Tramos de Red de Drenaje	48
4.2.7 Orden de Red de Drenaje	49
4.2.8 Definir sub-cuencas	51
4.2.9 Subcuenca raster – vector	52
4.2.10 Sub-cuencas Unir	54
4.2.11 Punto subCuenca	55
4.2.12 Pendiente	57
4.3 PARÁMETROS DE LA CUENCA	58
4.3.1 Número de Curva	59
4.3.2 Adicionar Campo CAH (condición antecedentes de humedad)	61
4.3.3 Construir raster CAH	64
4.3.4 CN Modificado	65
4.3.5 Raster precipitación	66
4.3.6 Raster tiempo de paso	68
4.3.7 Raster de isócronas	71
4.3.8 Isócronas Modclark	71
4.3.9 Camino Flujo Mas Largo	73
4.3.10 Propiedades Morfométricas	75
4.3.11 Curva Hipsométrica	76
4.3.12 Método Alvord	78
4.3.13 Raster Estadísticas	79
4.4 RED DE DRENAJE	80
4.4.1 Raster vector	80
4.4.2 Río longitud	81
4.4.3 Río pendiente	83
4.4.4 Coordenadas punto drenaje	84
4.4.5 Red de drenaje	85
4.4.6 Recorrido de flujo	85
4.4.7 Perfil Rio	86

4.4.8 Java (cálculo del hidrograma)	88
5. CONCLUSIONES	92
6. RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	94

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 ilustración esquemática de la distribución de la precipitación en una cuenca durante una tormenta.	21
Figura 2 Escorrentía Superficial	22
Figura 3 Red de Drenaje	26
Figura 4 Ventana Arcview	31
Figura 5 Proyecto APR.	32
Figura 6 Herramienta ARCUenca	33
Figura 7 Herramientas ARCUenca	33
Figura 8 Menú Proceso Cuenca	34
Figura 9 Propiedades Arcview	34
Figura 10 Mapa Curvas de Nivel	35
Figura 11 Tin de Propiedades	36
Figura 12 Propiedades del TIN	36
Figura 13 TIN	37
Figura 14 Pasos para crear Raster	37
Figura 15 Raster	38
Figura 16 Celdas Bajas	39
Figura 17 Pasos Llenado de Depreciaciones	40
Figura 18 Resultado de Llenado de Depreciaciones	41
Figura 19 Código Binario Dirección de Flujo	42
Figura 20 Pasos para Crear Dirección de Flujo	42
Figura 21 Resultado Mapa de Dirección de Flujo	43
Figura 22 Pasos para Flujo Acumulado	44
Figura 23 Resultado Mapa de Flujo Acumulado	45
Figura 24 Pasos para Red de Drenaje con Valor de Umbral	47

Figura 25 Resultado Mapa Red de Drenaje con valor de Umbral	47
Figura 26 Pasos para Red de Drenaje con número de celdas	48
Figura 27 Resultado mapa Red de Drenaje con Numero de Celdas	48
Figura 28 Pasos para Red de Drenaje	49
Figura 29 Resultado Mapa Red de Drenaje	49
Figura 30 Pasos Orden de Red de Drenaje	50
Figura 31 Mapa de Orden de Red de Drenaje	50
Figura 32 Pasos para Definir Subcuencas	51
Figura 33 Mapa Definir Subcuenca	52
Figura 34 Pasos Subcuenca Raster-Vector	53
Figura 35 Mapa Subcuenca Raster-Vector	53
Figura 36 Pasos Subcuenca Unir	54
Figura 37 Resultado Subcuencas unir	55
Figura 38 Pasos Punto SubCuenca	56
Figura 39 Resultado Punto Subcuenca	57
Figura 40 Pasos Pendiente	57
Figura 41 Mapa de Pendientes	58
Figura 42 Parámetros Cuenca	59
Figura 43 Número de Curva	59
Figura 44 Pasos Numero de Curva	60
Figura 45 Mapa de Distribución Espacial CN	61
Figura 46 Agregar Tema	62
Figura 47 Mapa de Estaciones	62
Figura 48 Mapa de estaciones a .shp	63
Figura 49 Pasos para Adicionar Campo (CAH)	63
Figura 50 Pasos para construir raster CAH	65
Figura 51 Pasos para crear CN Modificado	66
Figura 52 Pasos para crear Raster Precipitación	67
Figura 53 Resultado Mapa Raster de Precipitacion	68
Figura 54 Pasos para generar tiempo de paso	68

Figura 55 Mapa Raster de Tiempo de Paso	70
Figura 56 Pasos para Raster de Isócronas	71
Figura 57 Pasos para crear Isócronas Modclark	72
Figura 58 Resultado Isócronas Modclark	72
Figura 59 Pasos para el Camino de Flujo más Largo.	73
Figura 60 Selección de Cuencas	74
Figura 61 Mapa Camino de Flujo más Largo	74
Figura 62 Resultado Camino de Flujo más Largo	75
Figura 63 Pasos de Propiedades Morfométricas	76
Figura 64 Pasos Curva Hipsométrica	77
Figura 65 Pasos Método Alvord	78
Figura 66 Pasos Raster Estadísticas	79
Figura 67 Pasos Raster Vector	80
Figura 68 Mapa Raster Vector	81
Figura 69 Pasos Rio Longitud	82
Figura 70 Pasos Rio Pendiente	83
Figura 71 Pasos Para Coordenadas Punto drenaje	85
Figura 72 Pasos para recorrido de Flujo	85
Figura 73 Mapa resultado Recorrido de Flujo	86
Figura 74 Pasos Perfil Rio	87
Figura 75 Java Modelado Distribuido de Lluvia escorrentía.	88
Figura 76 Soil Conservation Services Modulo de Perdidas.	89
Figura 77 Soil Conservation Services Modulo de Escorrentia.	90
Figura 78 Hidrograma.	91

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Uso de la Tierra	28
Tabla 2 Resultados Raster	38
Tabla 3 Resultado Celdas Bajas	40
Tabla 4 Resultados Llenado de Depreciaciones	41
Tabla 5 Resultado Dirección de Flujo	44
Tabla 6 Resultados Dirección de Flujo	46
Tabla 7 Resultado Orden de Red de Drenaje	51
Tabla 8 Resultado Definir Subcuencas	52
Tabla 9 Tabla de Subcuencas	55
Tabla 10 Tabla de Pendientes	58
Tabla 11 Resultado Adicionar Campo (CAH)	64
Tabla 12 Resultado Propiedades Morfométricas	76
Tabla 13 Resultados Curva Hipsométrica	78
Tabla 14 Resultados Metodo Alvord	79
Tabla 15 Resultado Raster Vector	81
Tabla 16 Resultado Rio Longitud	83
Tabla 17 Resultado Rio Pendiente	84

RESUMEN

TITULO: Manual para el Modelado de Cuencas Hidrográficas Distribuidas Soportado en SIG*.

AUTOR : July Paola Rodríguez Ortiz**

PALABRAS CLAVES: SIG Sistema de Integración Geográfica MDE Modelos Digitales de Elevación

El Modelado Cuencas Hidrográficas Distribuidas Soportado en SIG. Es una herramienta desarrollada en Arcview, que tiene como nombre ARCuenca, este manual permite la ejecución de esta, de una manera practica, efectiva y asequible al estudiante.

Es evidente que existe una variabilidad espacial y temporal como la precipitación en los parámetros implicados en la infiltración, en la estructura de la red de drenaje que conforma la cuenca. Para el análisis de estos parámetros hidrológicos espaciales de una cuenca, los SIG utilizan los Modelos Digitales de Elevación (MDE) los cuales trabajan en el espacio (x,y,z). Esto hace una representación más real de la topografía de la cuenca que sirve para determinar la red de drenaje y el área subsidiaria de cada subcuenca en primera instancia.

En este manual se documentan procesos tales como

Celdas bajas, Llenado de depresiones, Dirección de Flujo, Flujo Acumulado, Red de Drenaje, Tramos de Red de Drenaje, Orden de Red de Drenaje, Definir sub-cuencas, Subcuenca raster – vector, Sub-cuencas Unir, Punto sub-Cuenca donde se describen el procesamiento del MDE para obtener variables físicas a partir de la topografía de este.

En los parámetros cuenca Se concentran los procesos hidrológicos. Tales como: Numero de Curva , Adicionar Campo CAH, Construir raster CAH, CN Modificado, Raster precipitación, Raster tiempo de paso, Raster isócronas, Camino Flujo Mas Largo, Isocronas Modclark, Propiedades Morfometricas, Curva Hipsométrica, Metodo Alvord, Raster Estadísticas en la RED DE DRENAJE Esta herramienta obtiene los atributos de la red de drenaje, localizar un punto espacialmente a partir de coordenadas del mismo y cortar el área de interés de un mapa raster mediante un polígono en esta se pueden ver las las longitudes y pendientes del rio.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director Luis Alberto Capacho Silva

SUMMARY

TITLE: Manual for the Distributed Watershed Modeling Supported in SIG*.

AUTHOR: July Paola Rodriguez Ortiz**

KEYWORDS: SIG Geographic Integration System MDE Digital Elevation Models

Distributed Watershed Modeling Supported GIS it's a tool developed in Arcview, whose name ARCuenca. This manual allows the execution of this tool, in a practical way, effective and affordable to all students.

Clearly there is a temporal and spatial variability like precipitation in the parameters involved into the infiltration and the structure of the drainage system which forms the basin. To analyze these spatial parameters, SIG uses Digital Elevation Models (MDE) which works in space (x, y, z). This makes a truer representation of the topography of the basin which is used to determine the drainage network and the area of each sub-subsidiary in the first instance.

This manual contains processes like:

Low cells, filling depressions, Flow Direction, Flow Cumulative Network of Drainage, Drainage Network Segments, Drainage Network Order, Define sub-basin, sub basin raster - vector, Sub-basins Unite, Point sub-basin which describes the processing of MDE for physical variables from the topography of this one.

Watershed parameters in hydrological processes are related to:

Number of Curve, Add Field CAH CAH raster Building, CN Modified precipitation Raster, Raster step time, Raster isochrones, Longest Flow Path, isochronous Modclark, Properties morphometric Hypsometric curve, Method Alvord, Raster Statistics in the network drainage. This tool gets the attributes of the drainage; locating a point in space from coordinates of the area and cut the interest of a raster map with a polygon in this you can see the lengths and slopes of the river.

* Project of grade

** Faculty of Fisicomecanicas Engineerings, School of Engineer Civilian, Director Luis Alberto Capacho Silva

INTRODUCCIÓN

Actualmente nos vemos confundidos por los diferentes eventos naturales que se han venido presentando; como respuesta a esta situación, existe una tendencia a investigar sobre los procesos lluvia-escorrentía que se presentan en una cuenca, y para esto, los modelos hidrológicos distribuidos implementados sobre SIG, ofrecen una nueva perspectiva para el estudio de cuencas hidrográficas a partir de sus propiedades físicas y geomorfológicas, con la posibilidad de considerar la variabilidad espacial de la información implicada en los procesos de lluvia-escorrentía, Lo que nos lleva a considerar la distribución espacial de las variables físicas y parámetros de los modelos sobre la cuenca. En la realidad al estudiar una cuenca es evidente que existe una variabilidad espacial y temporal como la precipitación en los parámetros implicados en la infiltración, en la estructura de la red de drenaje que conforma la cuenca. Para el análisis de estos parámetros hidrológicos espaciales de una cuenca, los SIG utilizan los Modelos Digitales de Elevación (MDE) los cuales trabajan en el espacio (x,y,z). Esto hace una representación más real de la topografía de la cuenca que sirve para determinar la red de drenaje y el área subsidiaria de cada subcuenca en primera instancia.

Siendo este un tema de investigación, de la escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad Industrial de Santander, fue desarrollado como proyecto de maestría: Modelado Espacialmente Distribuido de Cuenca Modelado Cuencas Hidrográficas Distribuidas Soportado en SIG, por el ingeniero LUIS ALBERTO CAPACHO SILVA, herramienta que facilita y a la vez genera la necesidad de tener una herramienta y metodología pedagógica para empezar a implementarlo en las aulas de clase.

En este contexto, en el presente proyecto de pregrado de Ingeniería Civil, se crea este manual de Modelado Espacialmente Distribuido de Cuencas Hidrográficas con las herramientas y metodologías apropiadas para optimizar la utilización de éstas, por los catedráticos y alumnos de universidades que tengan el propósito del estudio de las aguas.

1. MARCO TEÓRICO

El agua es el origen de la vida y la sustancia esencial para su desarrollo. Regula la distribución y la densidad de la vegetación sobre la superficie de la tierra y con esto ejerce un control sobre la vida misma. El estudio de la cuenca geomorfológica permite tener una visión completa del comportamiento de una zona determinada dado un evento de precipitación teniendo en cuenta parámetros como el área de la cuenca, pendiente, orden de la corriente, densidad de la corriente, factores que condicionan el volumen de escorrentía.

Los procesos hidrológicos transforman la distribución espacial y temporal del agua a través del ciclo hidrológico. El movimiento del agua es un sistema hidrológico está influido por las propiedades físicas del sistema, tales como el tamaño y la forma de sus líneas de corriente, y por la interacción del agua con otros medios como el aire y el calor. Los cambios de fase del agua entre fases líquidas, sólida y de vapor son importantes en algunos casos. Muchas leyes físicas rigen la operación de sistemas hidrológicos

Sucesivas transformaciones del estado físico del agua que se producen en la naturaleza, permite separar el ciclo hidrológico en cuatro sistemas: el sistema de agua atmosférico conformado por la evaporación y la precipitación, el sistema de agua superficial referente a la escorrentía, el sistema de agua sub-superficial que es la infiltración y el sistema subterráneo o flujo subterráneo. Esto ocurre en una superficie de tierra que drena agua hacia una corriente delimitada por una línea divisoria de aguas, conocido como cuenca hidrográfica.

La precipitación en una cuenca varía en el espacio y en el tiempo, es decir la lluvia no es uniforme en toda el área de la cuenca y ésta a su vez cambia su intensidad

a través del tiempo. Por lo tanto, en el análisis hidrológico espacial de una cuenca debe tenerse en cuenta un tratamiento distribuido de la precipitación para intervalos de tiempos dados en función de las mediciones de las estaciones pluviométricas.

1.1 SIG.

Los modelos hidrológicos distribuidos implementados sobre SIG, ofrecen una nueva perspectiva para el estudio de cuencas hidrográficas a partir de sus propiedades físicas y geomorfológicas, con la posibilidad de considerar la variabilidad espacial de la información implicada en los procesos hidrológicos, permitiendo un ahorro de trabajo de campo que requiere recursos financieros e inversión de tiempo.

Los Sistemas de Integración Geográfico (SIG.), proporcionan las variables físicas del terreno, y desde sus inicios en 1963 han evolucionado notablemente. Inicialmente fueron creados con el propósito de manejar y administrar la información de suelos, para formalizar en qué modo los datos con ciertas propiedades (ej.: zonificación del suelo) podrían ser combinados con información espacial (ej.: tamaño de la propiedad, localización, etc.). En un principio tal integración fue hecha con métodos manuales y muchos de los Sistemas de Información de Suelo que hoy en día operan son todavía organizados y ejecutados bajo esta línea de trabajo. Enormes esfuerzos se han hecho para automatizar y computarizar la clasificación de tal información; es así como esta problemática condujo a la aparición de nuevas tecnologías para el manejo y manipulación espacial. Este producto combinado se denominó SIG.

Los SIG son muy propicios en lo que se refiere a captura, ingreso, almacenamiento, transformación, análisis y despliegue (salida) de datos

geográficos del mundo real para propósitos específicos, siendo considerados en la actualidad como sistemas de base de datos capaces de manipular información geográfica. El ingreso de datos a un SIG incluye imágenes de satélite, fotografías aéreas, vectores tipológicos, datos de terreno y muchos otros tipos de datos.

En el Modelado de una cuenca se estudian los eventos hidrológicos a partir de características propias de la cuenca como su geomorfología, tipos de suelos, etc., cuya información tiene una distribución espacial continua, por lo tanto para el desarrollo del trabajo investigativo se tendrá como soporte los SIG. Los SIG son el resultado de la necesidad para el manejo de datos espaciales, proporcionando soluciones a problemas geográficos y facilitando la transferencia de datos.

Aunque se conoce que los SIG permiten el análisis de variables espaciales para obtener información derivada, no hay un proceso claro que indique cómo relacionar las diferentes variables físicas de la cuenca en un punto del terreno y cómo se correlacionan con los procesos de lluvia-escorrentía (es decir, a partir de la relación de variables físicas de la cuenca obtener información para: modelos de pérdidas y modelos de escorrentía).

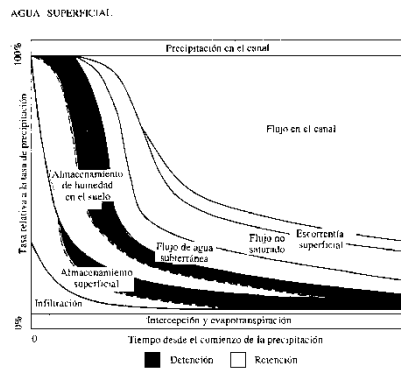
Entre las características hidrográficas que afectan la respuesta de una cuenca y de las cuales se puede obtener una idea cuantitativa del grado de su influencia en el análisis espacial, se tienen: área subsidiaria, precipitación, tipo y uso del suelo, topografía, vegetación y red de drenaje.

1.2 PRECIPITACIÓN

La cantidad de humedad contenida en una columna atmosférica se conoce con el nombre de agua precipitable; la precipitación en una cuenca varía en el espacio y en el tiempo, es decir la lluvia no es uniforme en toda el área de la cuenca y ésta a

su vez cambia su intensidad a través del tiempo. Por lo tanto, en el análisis hidrológico espacial de una cuenca debe tenerse en cuenta un tratamiento distribuido de la precipitación para intervalos de tiempos dados en función de las mediciones de las estaciones pluviométricas. (Ver figura 1)

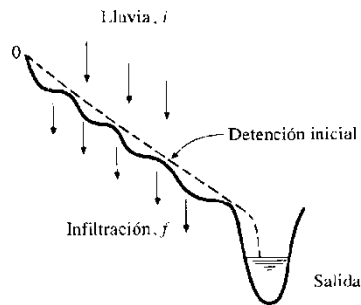
Figura 1 ilustración esquemática de la distribución de la precipitación en una cuenca durante una tormenta.



La precipitación que se convierte en caudal puede llegar al canal mediante la escorrentía superficial, el flujo subsuperficial o ambos

Horton consideró que la escorrentía superficial tomaba la forma de un flujo en láminas cuya profundidad podía medirse en fracciones de pulgadas. A medida que el flujo se acumulaba moviéndose a lo largo de la pendiente, su profundidad aumentaba hasta que descargaba en un canal (ver figura 2). Con el flujo superficial existe un almacenamiento en depresiones en los hundimientos de la superficie y un almacenamiento por detención superficial proporcional a la profundidad del mismo flujo superficial. El flujo superficial Hortoriano raramente ocurre en superficies con vegetación en regiones húmedas. Bajo estas condiciones, la capacidad de infiltración del suelo excede las intensidades de lluvia observadas para todos los casos con excepción de las lluvias extremas. En tal caso el flujo subsuperficial se convierte en el mecanismo primordial del transporte de agua lluvia hacia las corrientes.

Figura 2 Escorrentía Superficial



1.3 FLUJO SUPERFICIAL DE SATURACIÓN

El flujo superficial de saturación se produce cuando el flujo subsuperficial satura el suelo cerca a la parte inferior de la pendiente y entonces se presenta flujo superficial a medida que la lluvia cae en un suelo saturado. El flujo superficial de saturación difiere del flujo superficial Huroniano en que este último el suelo se satura desde arriba mediante infiltración, mientras que en el flujo superficial de saturación el suelo se satura desde abajo por el flujo subsuperficial. El flujo superficial de saturación ocurre con más frecuencia en la parte inferior de las pendientes de colina cerca a las bancas de la corriente.

La velocidad del flujo subsuperficial es tan baja que no todo el flujo subsuperficial o el flujo superficial de saturación de una cuenca contribuye a incrementar la corriente durante una tormenta.

1.4 EXCESO DE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA DIRECTA

El exceso de precipitación o precipitación efectiva, es la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir

a través de la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca bajo la suposición de flujo superficial Huroniano.

Las pérdidas son primordialmente agua absorbida por infiltración con algo de interceptación y almacenamiento superficial.

1.5 ÁREA SUBSIDIARIA

El área subsidiaria está determinada por una línea imaginaria que encierra el área de confluencia. Esta línea que separa una cuenca de las circundantes se denomina línea divisoria de aguas o parte aguas y en su trazado no debe cortar ninguna corriente de agua, salvo a la salida de ella. El área subsidiaria tiene una gran influencia en la magnitud del caudal que de ella va a drenarse. Normalmente a medida que crece el área subsidiaria de la subcuenca asimismo lo harán los caudales promedio, mínimos o los máximos.

En muchos proyectos de ingeniería es necesario conocer el valor de caudales específicos en cualquier punto de la cuenca que pueden ser utilizados en el diseño de obras hidráulicas los cuales están generalmente relacionados según el planteamiento anterior por el área subsidiaria. Esta es una de las grandes ventajas de trabajar con modelos hidrológicos de cuencas espacialmente distribuidos a diferencia de los modelos hidrológicos agregados.

1.6 VEGETACIÓN

Los procesos de lluvia-escorrentía en una cuenca también están afectados por la vegetación que se encuentren en el terreno de la misma. La precipitación

inicialmente es retenida por la cubierta vegetal y cuando ésta se satura, el agua comienza a desprenderse, demorando entonces la acumulación de agua destinada para escorrentía.

Un bosque o alta densidad de árboles retrasa varias horas la ocurrencia de avenidas y hace que la intensidad de éstas sea menor. En cambio, vegetación pobre en árboles hace que el tiempo de respuesta de la cuenca sea rápido y con grandes valores de caudales en un reducido tiempo. La vegetación de la cuenca también afecta la infiltración de agua precipitada.

Con los modelos hidrológicos agregados no se puede analizar los anteriores planteamientos, pues como se indicó anteriormente estos modelos trabajan con valores globales. La ventaja de los modelos hidrológicos espacialmente distribuidos es que se puede conocer la respuesta de la cuenca en cualquier punto de ésta teniendo en cuenta las anteriores variables de vegetación y tipo y uso de suelo. El Modelado espacial permitirá resolver interrogantes como: ¿Qué pasa si se desforesta cierta área de la cuenca?, ¿Cuál es el comportamiento de respuesta de la cuenca al cambiar el uso del suelo?, ¿Cómo afecta la deforestación en los diseños hidráulicos?, etc.

1.7 TOPOGRAFÍA

La topografía de la cuenca define en primera instancia la distribución de la red de drenaje e indica el movimiento del agua precipitada a favor de la máxima pendiente dando lugar a la escorrentía superficial. La pendiente de la cuenca tiene una importante correlación con la infiltración, escurrimiento superficial y la humedad del suelo. Es uno de los factores físicos que controla el flujo sobre el terreno y tiene una influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas.

La topografía está muy relacionada con la forma de la cuenca; ésta afectará directamente la longitud y la pendiente de los ríos que drenan la cuenca y por lo tanto su respuesta a la presencia de lluvia intensa. La topografía del terreno determina además el tiempo que se demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés.

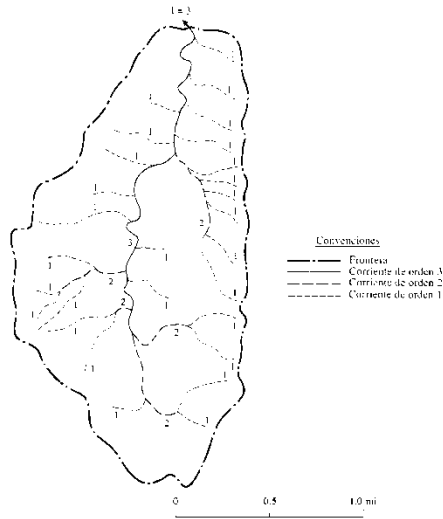
1.8 RED DE DRENAJE

La red de drenaje de una cuenca está caracterizada por el río principal y sus afluentes, que es la precipitación que se convierte en caudal y que puede llegar a los canales naturales de la cuenca mediante la escorrentía superficial, el flujo subsuperficial o ambos. La red de drenaje puede definirse como los trayectos que a partir de un punto inicial sigue la línea de máxima pendiente; los afluentes finalizan al alcanzar un punto de unión con el río principal y el río finalizara al llegar al borde del modelo o al límite de la cuenca. Al modelar la red de drenaje espacialmente se puede determinar valores de caudal en un momento dado en un punto del terreno, el cual depende de las anteriores variables mencionadas como: la magnitud del área subsidiaria, las precipitaciones sobre ella y la pendiente de la zona que permite la circulación del agua con menor o mayor rapidez

HORTON (1945) dio origen al estudio cuantitativo de redes de ríos donde los canales reconocibles más pequeños se designan como de orden 1; normalmente estos canales fluyen sólo durante tiempo húmedo. Cuando dos canales de orden 1 se unen resulta un canal de orden 2 hacia aguas abajo; en general, cuando dos canales de orden i se unen, resulta un canal de orden $i+1$.

Cuando un canal de orden abajo se une con un canal de orden mayor, el canal resultante hacia aguas abajo retiene el mayor de los dos órdenes. Ver figura 3

Figura 3 Red de Drenaje



1.9 TIPO Y USO DE SUELO

En una cuenca hidrográfica es natural encontrarse con diversidad de suelo y en algunos sectores de la cuenca puede que se le este aplicando algún uso al terreno. Con respecto al suelo, sus propiedades físicas afectan el régimen de escorrentía de la cuenca porque de acuerdo a su textura o compactación dan un estimativo de los procesos de infiltración y retención de la precipitación. Espacialmente hay una variabilidad de los tipos de suelos que conforman la cuenca y algunos de éstos serán permeables o impermeables afectando entonces los valores de escorrentía en la cuenca. Con respecto al uso del terreno debe tenerse en cuenta cuáles son las variables que afectan a la cuenca. Al terreno se le puede dar un uso: comercial, industrial, agrícola, residencial, etc.

1.10 NÚMEROS DE CURVA (CN)

Los números de curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service con base en el tipo de suelo y uso de la tierra. Se definen cuatro grupos de suelos:

Grupo A

Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B

Suelos poco profundo depositados por el viento, marga arenosa.

Grupo C

Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

Grupo D

Suelos que se expanden Significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Para calcular el número de curva ponderado utilizamos la tabla 1

Tabla 1 Uso de la Tierra

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena ²	25	55	70	77
Áreas abiertas: césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas: condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable ⁴			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

Uso de la tierra	Grupo hidrológico de suelo					
	B			C		
	%	CN	Producto	%	CN	Producto
Residencial (30% impermeable)	20	72	1,440	20	81	1,620
Residencial (65% impermeable)	6	85	510	6	90	540
Carreteras	9	98	882	9	98	882
Terreno abierto: Buena cubierta	4	61	244	4	74	296
Aceptable cubierta	4	69	276	4	79	316
Parqueaderos	7	98	686	7	98	686
	50		4,038	50		4,340

2. PALABRAS CLAVES

SIG Sistema de Integración Geográfica: Es una herramienta informática muy potente para el manejo y análisis de la información espacial, haciendo de ésta un entorno adecuado para el desarrollo de la modelación hidrológica distribuida de una cuenca.

MDE Modelos Digitales de Elevación: Es una herramienta informática muy potente para el manejo y análisis de la información espacial haciendo de ésta un entorno adecuado para el desarrollo del modelado hidrológica distribuida de una cuenca, la mayor utilidad era la de almacenamiento y gestión de bases de datos georeferenciales pero en la actualidad disponen de funciones de análisis y visualización de resultados óptimos.

SMH Sistemas de Modelado Hidrológico: Es un software de distribución libre o comercial que se utiliza para el estudio y análisis de cuencas hidrográficas ante los procesos de lluvia escorrentía. Un SMH tiene la posibilidad de trabajar con modelos agregados o distribuidos, y a diferencia de los MDE incorpora la variable tiempo en la simulación hidrológica, es decir, modela los procesos de lluvia-escorrentía a través del tiempo. Está diseñado para simular los procesos de pérdidas, y la escorrentía superficial, que resulta de una precipitación mediante la representación de la cuenca como un sistema de componentes interconectados.

3. PREÁMBULO

En busca de brindar herramientas teóricas y metodológicas a la Escuela de Ingeniería Civil para fomentar el estudio de las aguas, que a su vez ayuden a fortalecer los grupos de investigación, se ha planteado realizar un manual como soporte práctico de la clase de Hidrología, con el objeto de establecer una base bibliográfica que abarque los principios generales, de los modelados físicos y geomorfológicos del evento lluvia-escorrentía, sentando bases para que se realicen proyectos en este campo de la ingeniería.

4. MANUAL

4.1 BASES PARA INICIAR

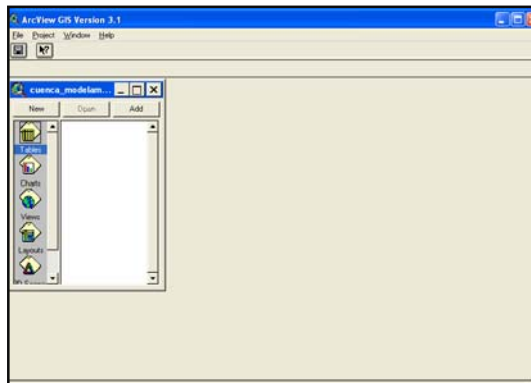
En ArcView se trabaja con vistas, tablas, diagramas, diseños y guiones, y todos estos elementos se almacenan en un archivo llamado proyecto.

Para poder utilizar la herramienta ARCUENCA debemos abrir como proyecto el archivo.

En ArcView se trabaja con un proyecto a la vez. Los proyectos mantienen Juntos todos los componentes necesarios para una determinada tarea o aplicación.

La ventana de ArcView se presenta a continuación. (Ver figura 4.)

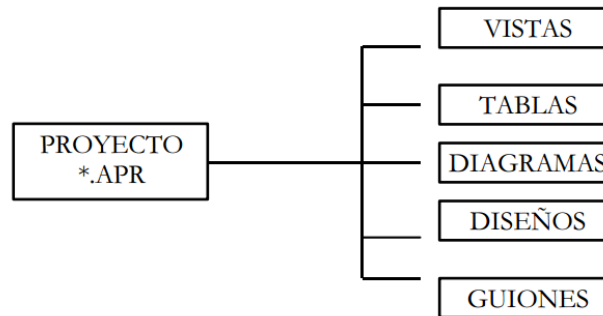
Figura 4 Ventana Arcview



En esta ventana, en la cual se ejecuta ArcView, sirve de marco para todas las operaciones

Que se realizan en ArcView. (Ver figura 5.)

Figura 5 Proyecto APR.



En ArcView se trabaja con vistas, tablas, diagramas, diseños y guiones, y todos estos elementos se almacenan en un archivo llamado proyecto.

Para poder utilizar la herramienta ARCUENCA debemos abrir como proyecto el archivo APR. (Ver figura 6.)

Esta barra aparece en la ventana de ArcView debajo de la barra de menús y contiene botones que brindan acceso rápido a varios controles. Haga clic en un botón para seleccionarlo. El contenido de la barra de botones varía de acuerdo con lo que esté visualizado en la ventana activa de la siguiente manera:

Barra de botones para proyectos

Barra de botones para vistas

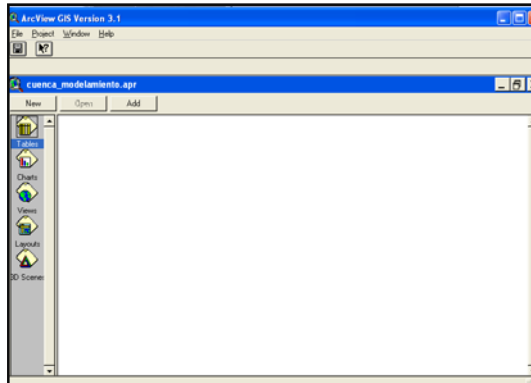
Barra de botones para tablas

Barra de botones para diagramas

Barra de botones para diseños

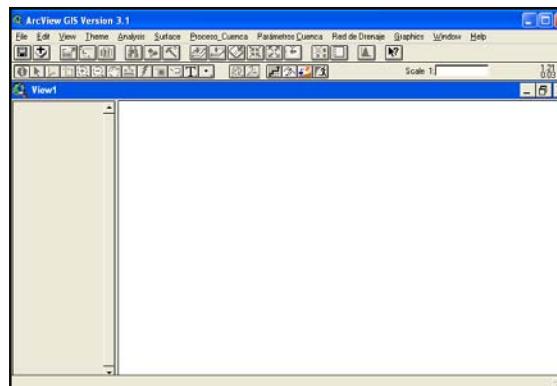
Barra de botones para guiones

Figura 6 Herramienta ARCuencia



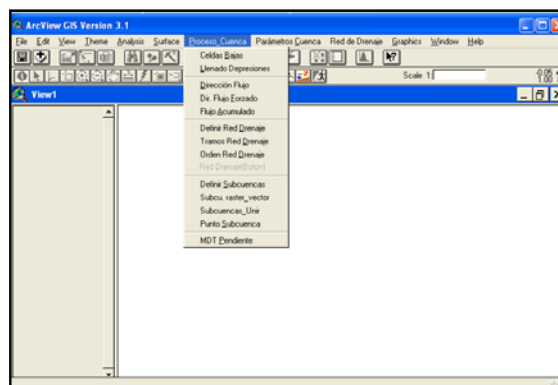
Se desplegará la Siguiete (ver figura 7.) que será el escritorio de trabajo, y se observa los nuevos menús (Proceso Cuenca – Parámetros de Cuenca – Red Drenaje).

Figura 7 Herramientas ARCuencia



El primer menú PROCESO CUENCA muestra unos sub-menús (ver figura 8):

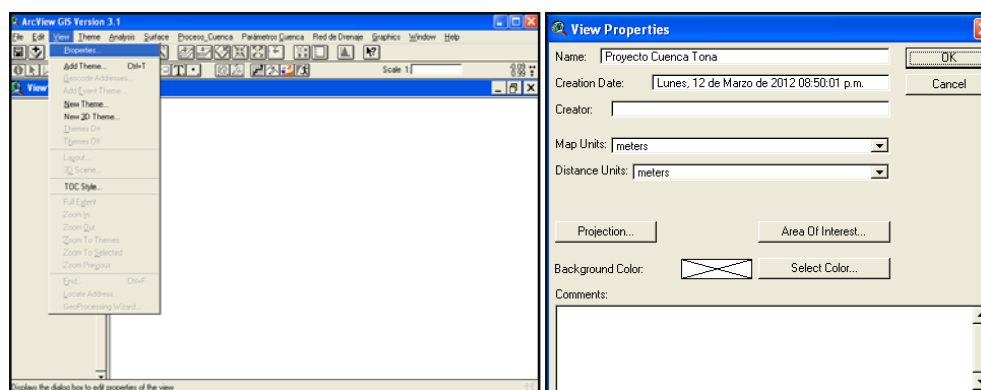
Figura 8 Menú Proceso Cuenca



Se desarrolla un taller para mayor entendimiento de la herramienta, la base de datos será la subcuenca de Tona ubicado en el departamento de Santander. Para el cálculo de cada uno de los atributos de cuenca se utiliza información cartográfica a escala 1:25000 que posteriormente se lleva a formato raster utilizando en tamaño de celda 25 metros.

Es importante tener claro las propiedades de la vista para entender los datos que esta arrojando la herramienta. Para ingresarlas ir al a propiedades (ver figura 9).


Figura 9 Propiedades Arcview



Estas unidades son de acuerdo al plano en el cual se esté trabajando en este caso:

Map Units: meters.

Distance Units: meters.

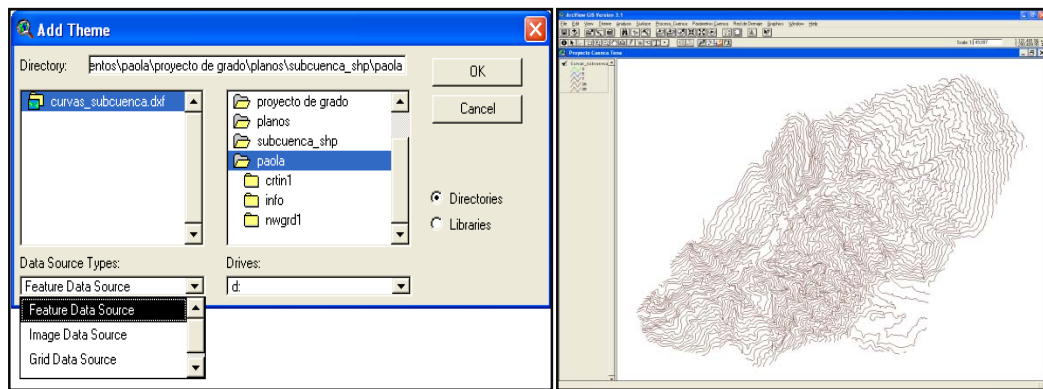
Si se tiene un archivo .dwg en AUTOCAD se debe pasar a .dxf, en la barra de menú dando click en view agregar tema ó da click en el botón  ó Ctrl + t

Se va trabajar sobre un plano de la cuenca Tona ubicado en el departamento de Santander, cargamos el plano .dxf

Es importante seleccionar Feature Data Source, para activar el .dxf

Como resultado tenemos el siguiente mapa (ver figura 10)

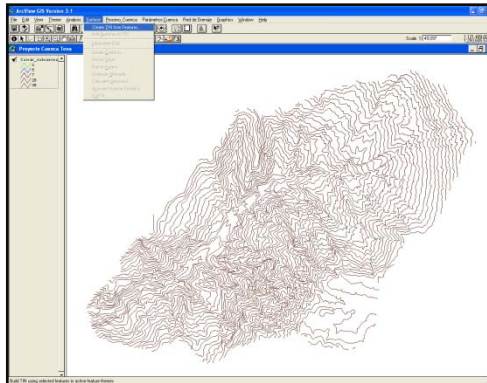
Figura 10 Mapa Curvas de Nivel



Se estable un formato amigable para ArcView, haciendo un Tin y convirtiendo éste en una grilla.

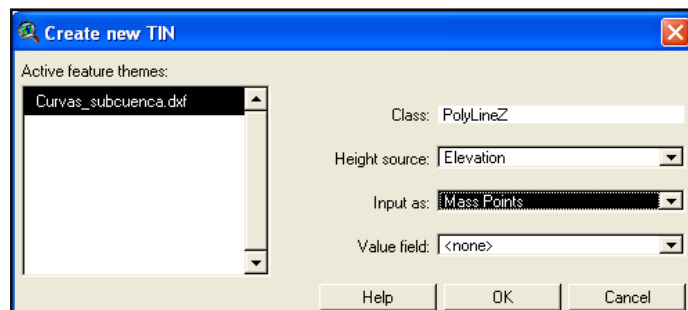
Es importante tener señalado el mapa para que se active la opción Create Tin From Features (Ver figura 11)

Figura 11 Tin de Propiedades



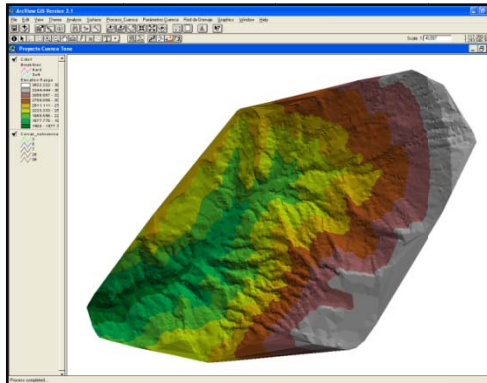
Como altura fuente se coloca la elevación, y como dato de entrada los puntos de masa (ver figura 12)

Figura 12 Propiedades del TIN



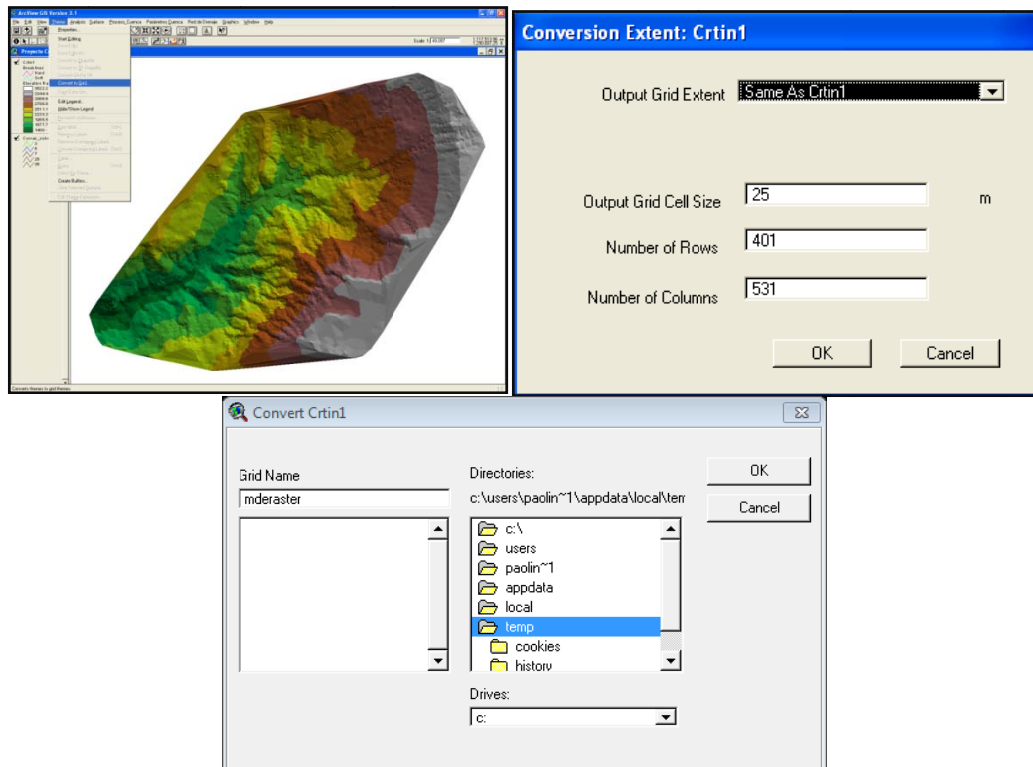
Como resultado da un Tin de la Subcuenca Tona (ver figura 13)

Figura 13 TIN



Al generar el Tin, se convierte a raster, teniendo seleccionado el Tin creado, en output grid cell size con 25, debido a la escala del mapa 1:25000, al dar enter se calcula el número de filas y Columnas. Por medio del Siguiendo Procedimiento (ver figura 14),

Figura 14 Pasos para crear Raster



Como resultado un grid – raster (ver figura 15) en un formato amigable para ArcView donde clasifica las elevaciones asignando un color. En una estructura raster cada una de las áreas recibe el nombre de pixel o celda y la agregación de las celdas conforma lo que se conoce como la malla regular o grid, un punto puede representarse como una celda, una línea por un conjunto de celdas contiguas con el mismo atributo, y un polígono como un conjunto de celdas con el mismo valor del atributo.

Figura 15 Raster



Tabla 2 Resultados Raster

Symbol	Value	Label
	0 - 431.401	0 - 431.401
	431.401 - 862.801	431.401 - 862.801
	862.801 - 1294.202	862.801 - 1294.202
	1294.202 - 1725.603	1294.202 - 1725.603
	1725.603 - 2157.003	1725.603 - 2157.003
	2157.003 - 2588.404	2157.003 - 2588.404
	2588.404 - 3019.804	2588.404 - 3019.804
	3019.804 - 3451.205	3019.804 - 3451.205
	3451.205 - 3882.606	3451.205 - 3882.606
		No Data

Después de convertir el modelo TIN de la cuenca a estructura raster, se procede a determinar si existe en la superficie del MDE pit's o sumideros

4.2 PROCESO CUENCA

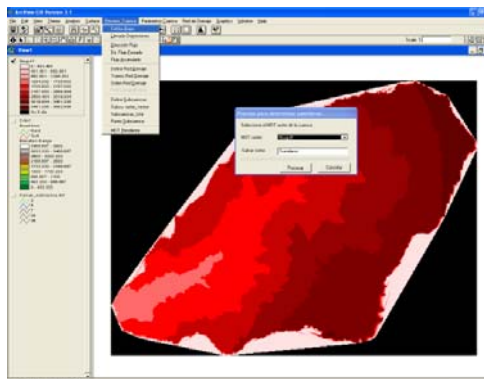
Se encarga del procesamiento del MDE para obtener variables físicas a partir de la topografía de este.

4.2.1 Celdas Bajas

Esta función ubica espacialmente si existen celdas o áreas bajas del MDE.

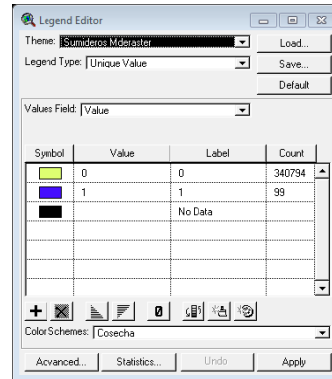
Sale una ventana en la cual se determina los sumideros, se escoge como MDE raster el archivo creado en el numeral anterior. (Ver figura 16)




Figura 16 Celdas Bajas



Se tiene como resultado la localización espacial de los sumideros que conforman la cuenca (ver tabla 3)

Tabla 3 Resultado Celdas Bajas



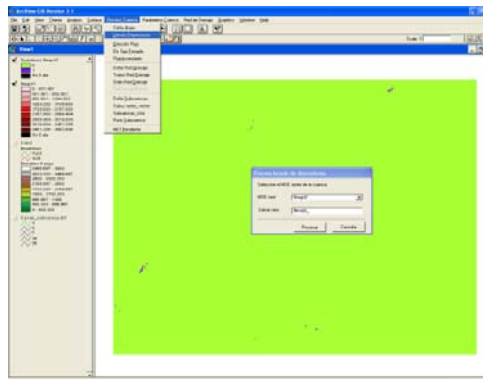
Symbol	Value	Label	Count
	0	0	340794
	1	1	99
	No Data		

El 0 indica que hay 0 sumideros en 340794 celdas, el 1 indica que hay 1 sumidero en 99 celdas

4.2.2 Llenado de depresiones

Como indica una zona fuera de análisis en donde se encontró celdas bajas, se debe hacer el llenado de depresiones; éste realiza el proceso de llenado de las celdas bajas a áreas bajas, la información de entrada es el MDE raster. En este caso el mderaster. (Ver figura 17)

Figura 17 Pasos Llenado de Depreciaciones



Como resultado un MDE llenado, es decir con las correcciones previas.(ver figura 18) y una tabla (ver tabla 4)

Figura 18 Resultado de Llenado de Depreciaciones

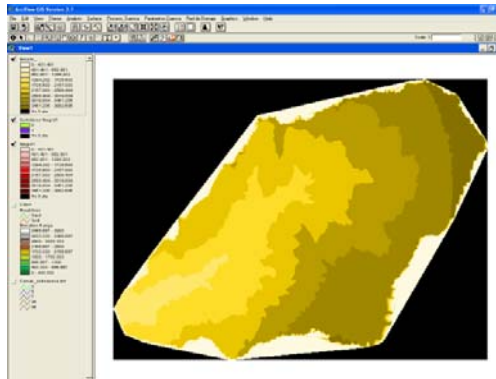


Tabla 4 Resultados Llenado de Depreciaciones

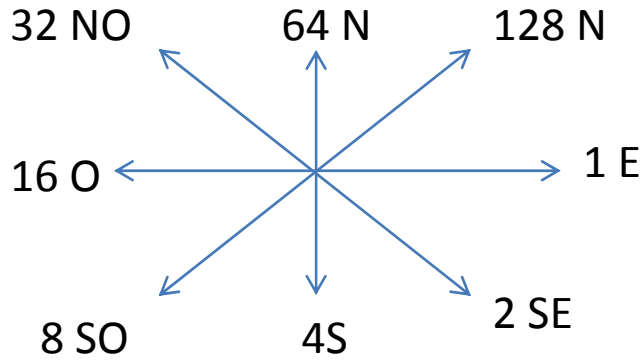
The image shows the 'Legend Editor' dialog box. It includes fields for Theme, Legend Type, Classification Field, and Normalize by. Below these is a table with three columns: Symbol, Value, and Label. The table contains several rows of data, including numerical ranges and a 'No Data' entry.

Symbol	Value	Label
[White]	0 - 431.401	0 - 431.401
[Light Yellow]	431.401 - 862.801	431.401 - 862.801
[Yellow]	862.801 - 1294.202	862.801 - 1294.202
[Light Orange]	1294.202 - 1725.603	1294.202 - 1725.603
[Orange]	1725.603 - 2157.003	1725.603 - 2157.003
[Dark Orange]	2157.003 - 2588.404	2157.003 - 2588.404
[Red-Orange]	2588.404 - 3019.804	2588.404 - 3019.804
[Red]	3019.804 - 3451.205	3019.804 - 3451.205
[Dark Red]	3451.205 - 3882.606	3451.205 - 3882.606
[Black]		No Data

4.2.3 Dirección de Flujo

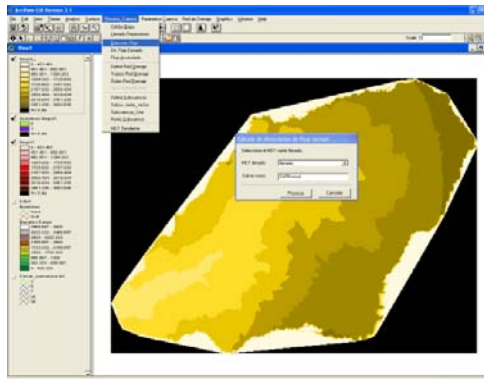
En este proceso celda para cada determina una dirección de flujo y le asigna un código dependiendo de la orientación de agua, evaluando las ocho celdas que rodean la celda central usando los Sigüientes valores binarios (ver figura 19).

Figura 19 Código Binario Dirección de Flujo



Para la generación del mapa de direcciones de flujo normal la herramienta solicita el MDE llenado, realizado en el paso anterior. (Ver figura 20)

Figura 20 Pasos para Crear Dirección de Flujo

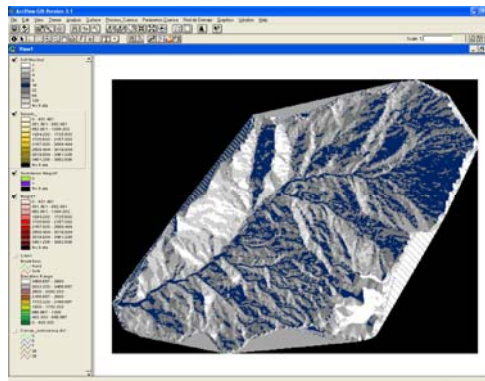


Después de haber realizado el proceso de llenado del MDE, con el modelo corregido se determina en primera instancia la dirección de flujo para cada celda del mapa raster. La dirección de flujo es el camino de descenso que tomaría el agua precipitada para cada celda en función de la máxima pendiente de descenso.

Dirección de Flujo Forzado

Para generar este mapa se necesita la información vectorial de la red de drenaje digitalizada en AutoCAD o generada por otros medios de imágenes aéreas o satelitales. (ver figura 21)

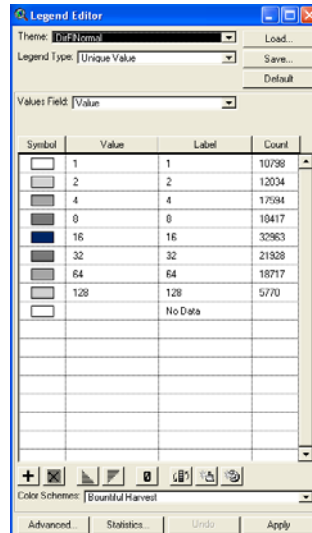
Figura 21 Resultado Mapa de Dirección de Flujo



Esta tabla muestra el número de celdas existentes por cada código de dirección de flujo. Si el flujo de la celda central es hacia la derecha, a ésta se le asigna la dirección de flujo 1, o si el flujo de la celda central es ascendente en el sentido vertical, a esta celda se le asigna el valor de dirección de 64.

Para estos cálculos de dirección de flujo se desprecian todos los efectos debidos a la inercia, fricción, e infiltración, asignando a cada celda una y sólo una dirección entre las 8 posibles.

Tabla 5 Resultado Dirección de Flujo

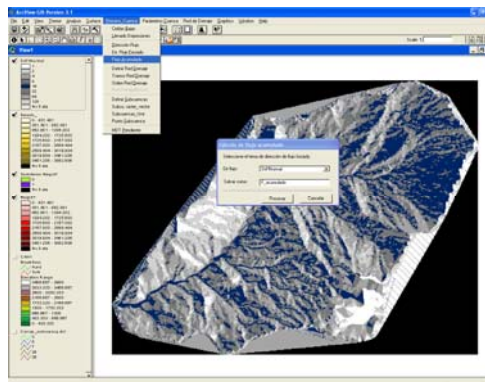


Symbol	Value	Label	Count
	1	1	10798
	2	2	12034
	4	4	17594
	8	8	10417
	16	16	32963
	32	32	21828
	64	64	18717
	128	128	5770
		No Data	

4.2.4 Flujo Acumulado

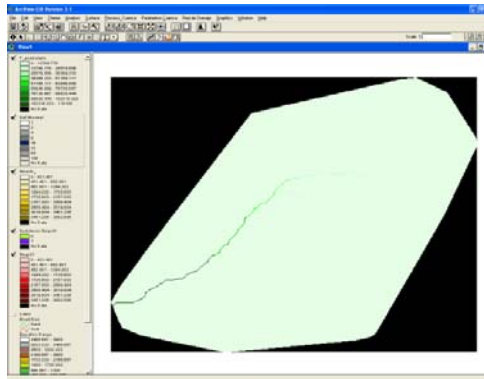
Esta función contabiliza las celdas acumuladas aguas arriba, como mapa de entrada el de direcciones de flujo, sea el normal o forzado. (Ver figura 22)

Figura 22 Pasos para Flujo Acumulado



Como resultado tenemos un mapa de flujo acumulado (ver figura 23)

Figura 23 Resultado Mapa de Flujo Acumulado



Esta acumulación se hace en el mismo sentido en que el flujo viaja sobre la superficie de la cuenca, es decir, desde un extremo de la matriz o punto hidráulicamente más alejado hasta llegar al punto de desagüe de la cuenca.

La tabla (ver tabla 6.) muestra la suma de lluvia que llega a cada una de las celdas desde aguas arriba, asumiendo que toda la lluvia se convierte en escorrentía y no hay intercepción, evapotranspiración o pérdidas por el subsuelo. Las celdas con valores altos de flujo acumulado son aéreas de concentración de flujo, las celdas con valor a cero son puntos topográficos altos.

Tabla 6 Resultados Dirección de Flujo

Symbol	Value	Label
[Lightest Green]	0 - 12789.778	0 - 12789.778
[Light Green]	12789.778 - 25579.556	12789.778 - 25579.556
[Medium-Light Green]	25579.556 - 38369.333	25579.556 - 38369.333
[Medium Green]	38369.333 - 51159.111	38369.333 - 51159.111
[Medium-Dark Green]	51159.111 - 63948.889	51159.111 - 63948.889
[Dark Green]	63948.889 - 76738.667	63948.889 - 76738.667
[Darkest Green]	76738.667 - 89528.444	76738.667 - 89528.444
[Black]	89528.444 - 102318.222	89528.444 - 102318.222
[Black]	102318.222 - 115108	102318.222 - 115108
[Black]		No Data

4.2.5 Red de Drenaje

La información de entrada para generar la red de drenaje raster de la cuenca, es el mapa de flujo acumulado. Al usar este módulo, la herramienta solicita al usuario por medio de un diálogo un valor de umbral que puede ser en metros cuadrados o el número de celdas; con este umbral se realiza una operación lógica para determinar qué celdas del mapa raster cumplen con la condición.(ver figura 24)

Figura 24 Pasos para Red de Drenaje con Valor de Umbral

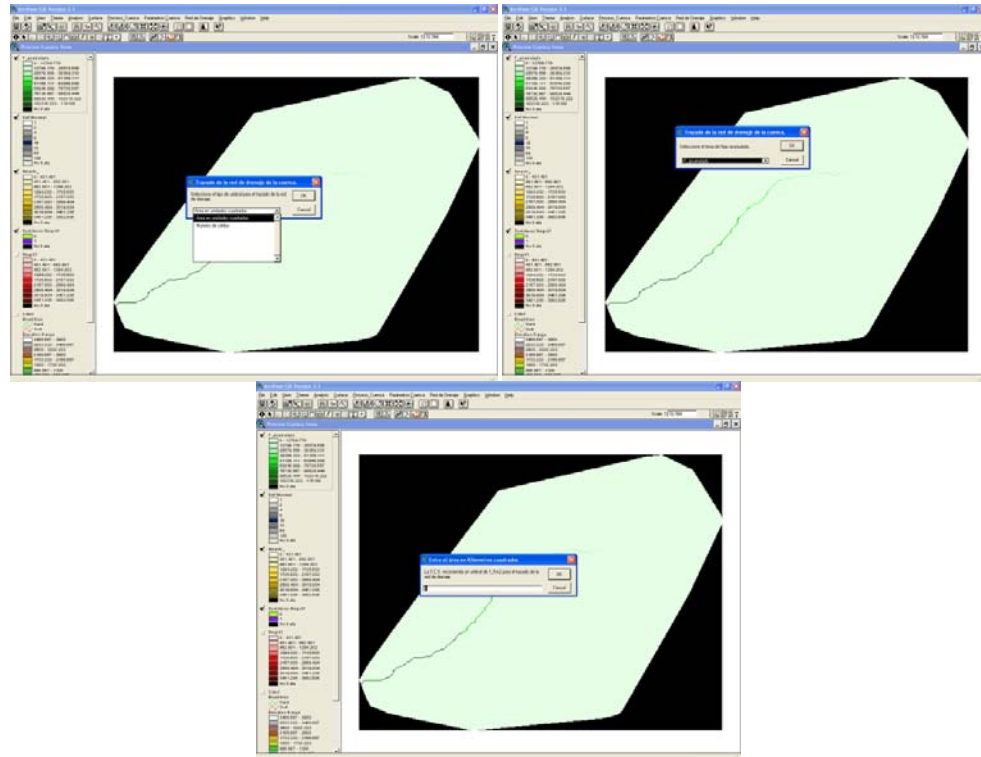
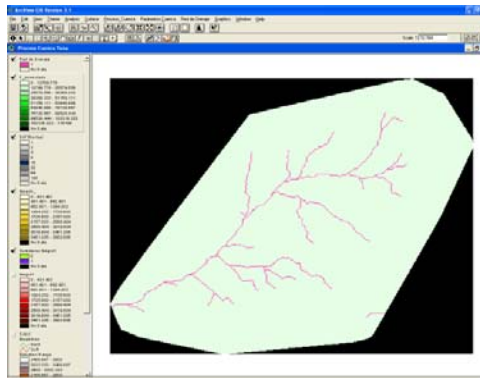


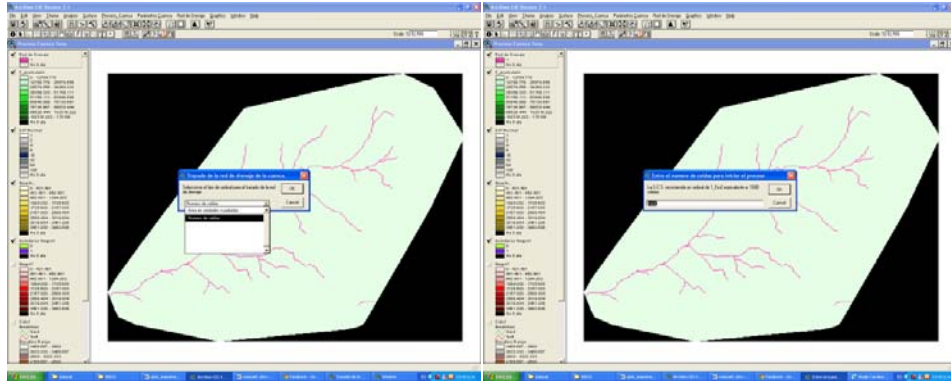
Figura 25 Resultado Mapa Red de Drenaje con valor de Umbral



Este resultado en el mapa muestra celdas con valores 1 que son aquellas que corresponden a canales y las no data son las celdas que corresponden a laderas. (ver figura 25)

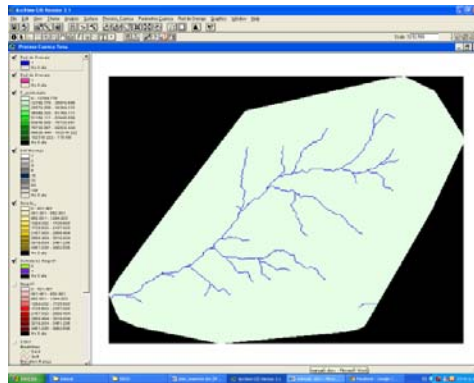
A continuación se muestra el proceso de generación de un mapa MDE de drenaje mediante la opción número de Celdas. (Ver figura 26)

Figura 26 Pasos para Red de Drenaje con número de celdas



Como resultado tenemos un mapa de Red de Drenaje. (Ver figura 27)

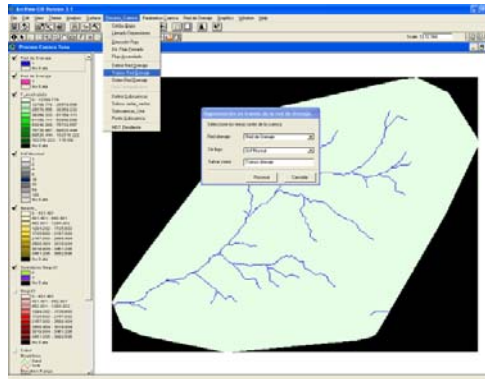
Figura 27 Resultado mapa Red de Drenaje con Numero de Celdas



4.2.6 Tramos de Red de Drenaje

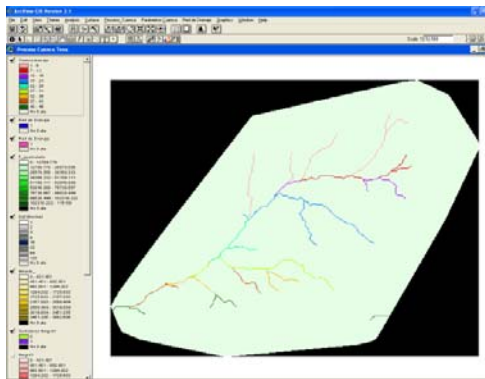
Para contabilizar los tramos que conforman la red de drenaje se debe tener el mapa de dirección de flujo y la red de drenaje generada previamente con el valor de umbral, el trazado de la red de drenaje se hace a partir de los puntos altos de las cabeceras del Río. (Ver figura 28)

Figura 28 Pasos para Red de Drenaje



Como resultado tenemos un mapa de Red de Drenaje (Ver figura 29)

Figura 29 Resultado Mapa Red de Drenaje

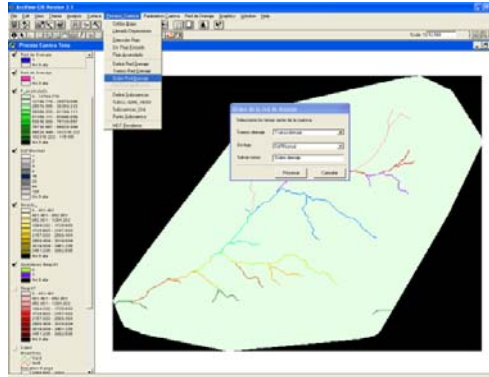


4.2.7 Orden de Red de Drenaje

Para generar la red de drenaje de la cuenca sin tener en cuenta un valor de umbral, se parte de los puntos altos de formación de cauce en canal, creando una nube de puntos que son las cabeceras de formación de los ríos y afluentes.

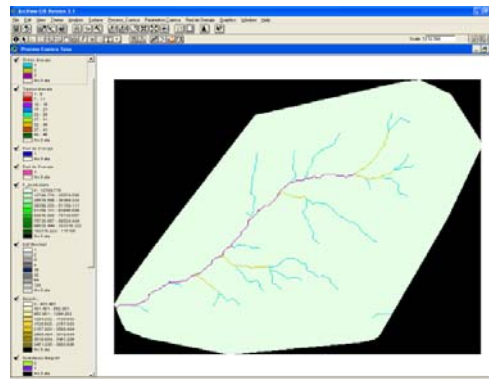
Para este proceso tiene en cuenta el mapa de dirección de flujo y tramos de drenaje. (Ver figura 30)

Figura 30 Pasos Orden de Red de Drenaje



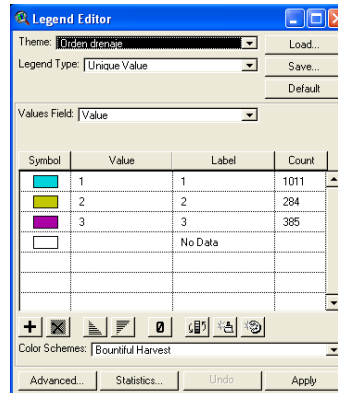
Como resultado tenemos un mapa de Orden de Red de Drenaje (ver figura 31)





Figura 31 Mapa de Orden de Red de Drenaje



La tabla define el orden y la cantidad de celdas que conforman ese orden. (Ver tabla 7)

Tabla 7 Resultado Orden de Red de Drenaje

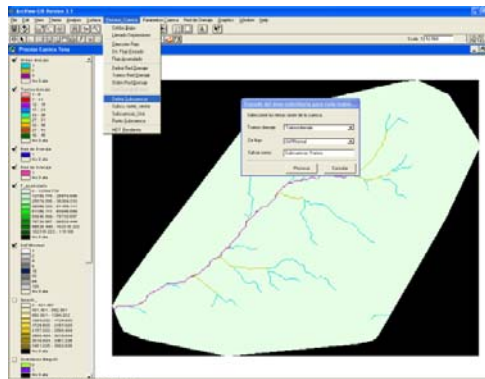


Symbol	Value	Label	Count
	1	1	1011
	2	2	284
	3	3	385
		No Data	

4.2.8 Definir sub-cuencas

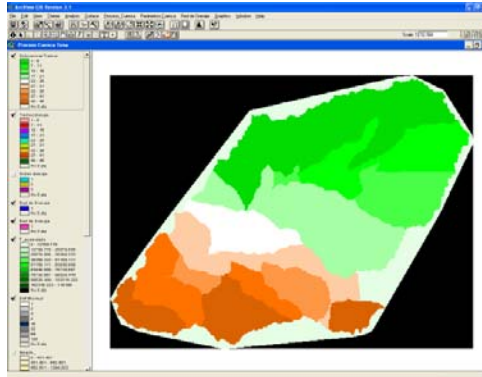
Para cada tramo de la red de drenaje se determina el área subsidiaria en estructura raster. (Ver figura 32)

Figura 32 Pasos para Definir Subcuencas



Como resultado tenemos un mapa de subcuencas a partir de la red de drenaje (ver figura 33)

Figura 33 Mapa Definir Subcuenca



La tabla (ver tabla 8) muestra el numero de celdas que conforman cada una de las áreas subsidiarias.

Tabla 8 Resultado Definir Subcuencas

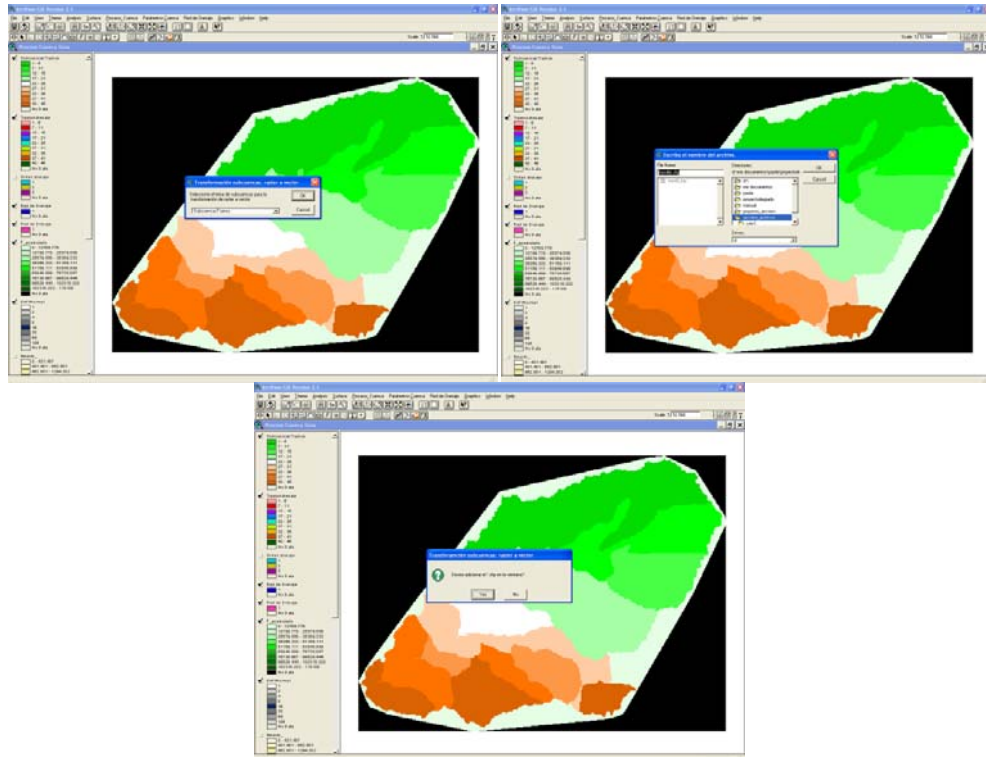
Symbol	Value	Label
Green	1 - 6	1 - 6
Light Green	7 - 11	7 - 11
Light Green	12 - 16	12 - 16
Light Green	17 - 21	17 - 21
White	22 - 26	22 - 26
White	27 - 31	27 - 31
Light Orange	32 - 36	32 - 36
Light Orange	37 - 41	37 - 41
Light Orange	42 - 46	42 - 46
White		No Data

4.2.9 Subcuenca raster – vector

El mapa de sub-cuencas se convierte en estructura vectorial o mapa .shp con sus respectivos cálculos de área y perímetro.

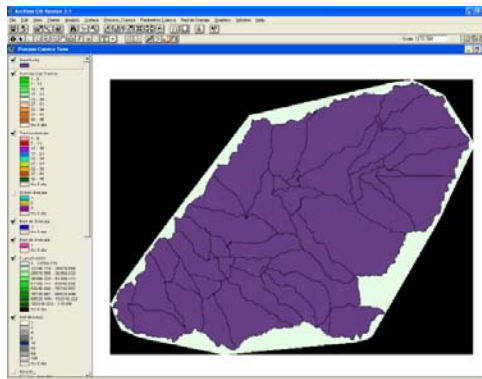
Por medio del siguiente procedimiento, (ver figura 34)

Figura 34 Pasos Subcuena Raster-Vector



Como resultado un mapa vectorial. (Ver figura35)

Figura 35 Mapa Subcuena Raster-Vector



4.2.10 Sub-cuencas Unir

Da la posibilidad de unir dos o más polígonos o subcuencas, teniendo como criterio que éstas deben tener una porción común del afluente y además los polígonos deben tener adyacencia ya sea aguas arriba o aguas abajo. En Tabla (ver tabla 9) de atributos del mapa .shp seleccionar las subcuencas a unir. (Ver figura 36)

Figura 36 Pasos Subcuencia Unir

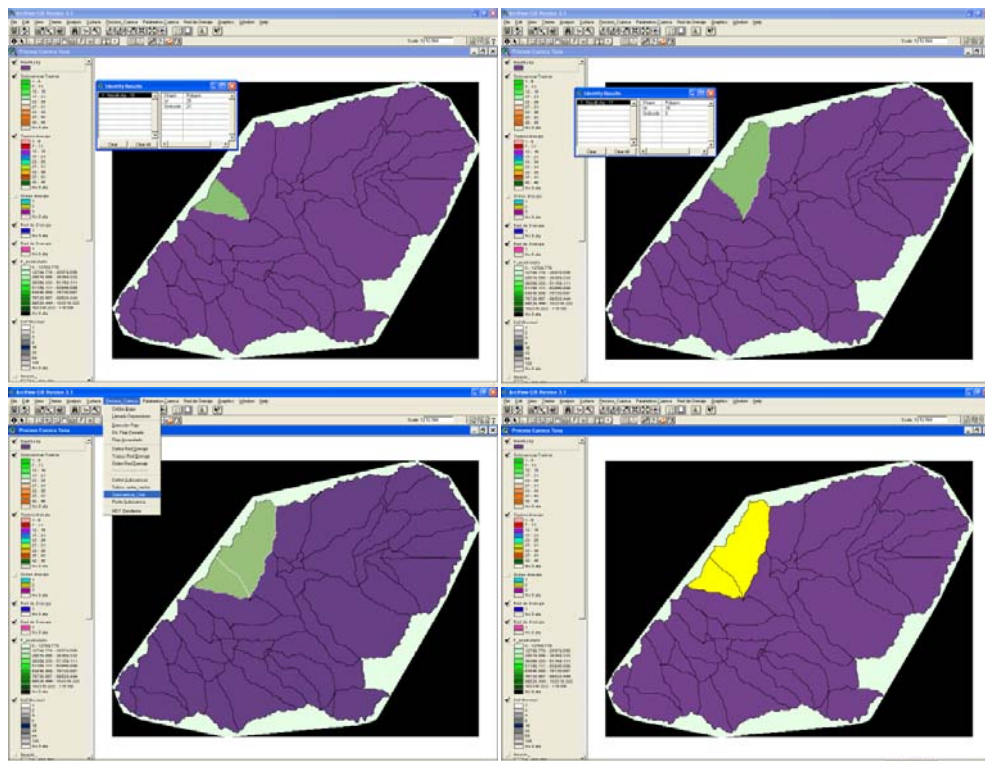
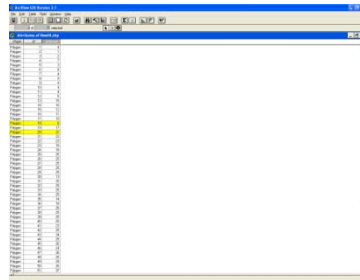
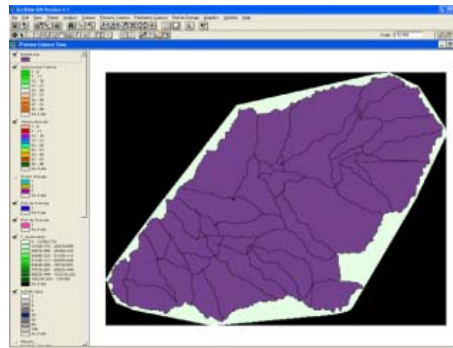


Tabla 9 Tabla de Subcuencas



Y como resultado un mapa de con las subcuencas unidas (ver figura 37)

Figura 37 Resultado Subcuencas unir

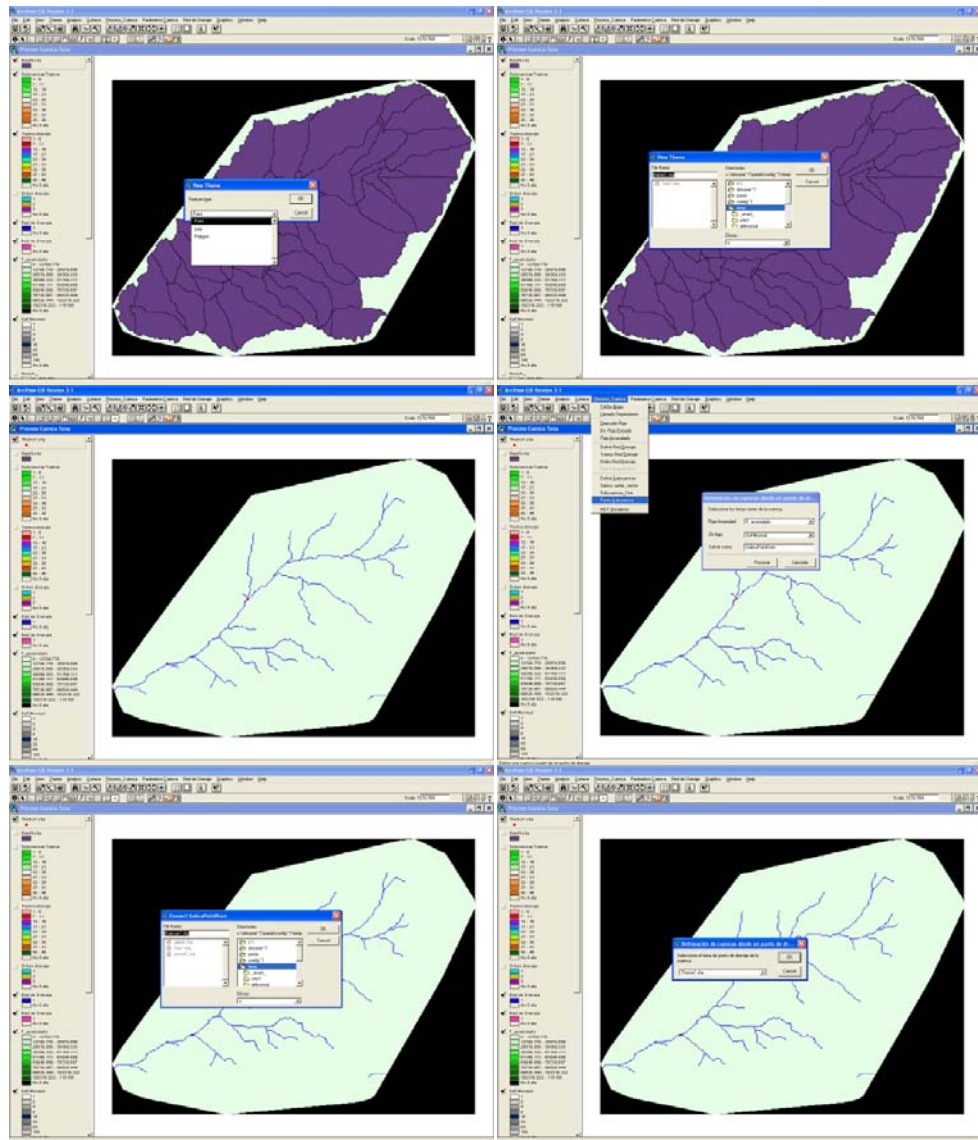


4.2.11 Punto subCuenca

Como operación adicional se deja la posibilidad al usuario el trazado de área subsidiaria mediante la localización de un punto a partir del cual el módulo delimita esta zona aguas arriba. La localización del punto puede hacerse geográficamente para el caso de puntos levantados en campo o como de interés particular.

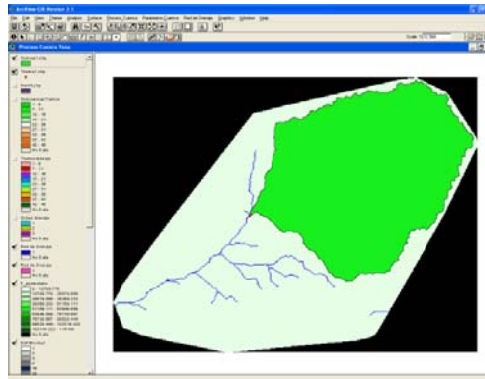
Se inserta un tema de puntos, ubicar el punto aleatorio o con coordenadas, dentro de la red de drenaje. Se escoge el tema donde esta ubicado el punto. (Ver figura 38)

Figura 38 Pasos Punto SubCuenca



Como resultado un mapa del area subsidiaria a partir de un punto de drenaje. (ver figura 39)

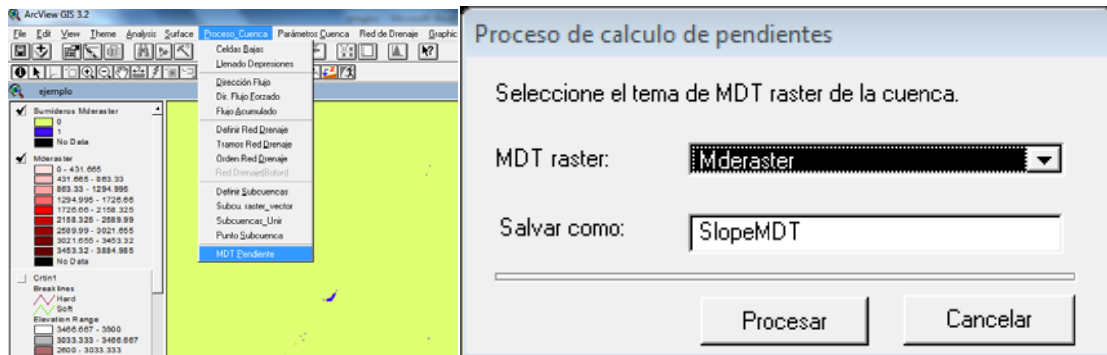
Figura 39 Resultado Punto Subcuenca



4.2.12 Pendiente

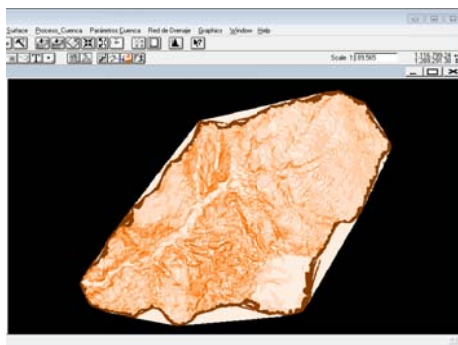
Esta herramienta genera un mapa raster de pendientes, para la cual se debe utilizar el mapa de flujo acumulado. (ver figura 40)

Figura 40 Pasos Pendiente



Como resultado el mapa de pendientes (ver figura 41).

Figura 41 Mapa de Pendientes



En la tabla se ven las pendientes clasificadas con un intervalo entre máximo y mínimo dándole tonalidad a las que pertenezcan a ellas. (ver tabla 10)

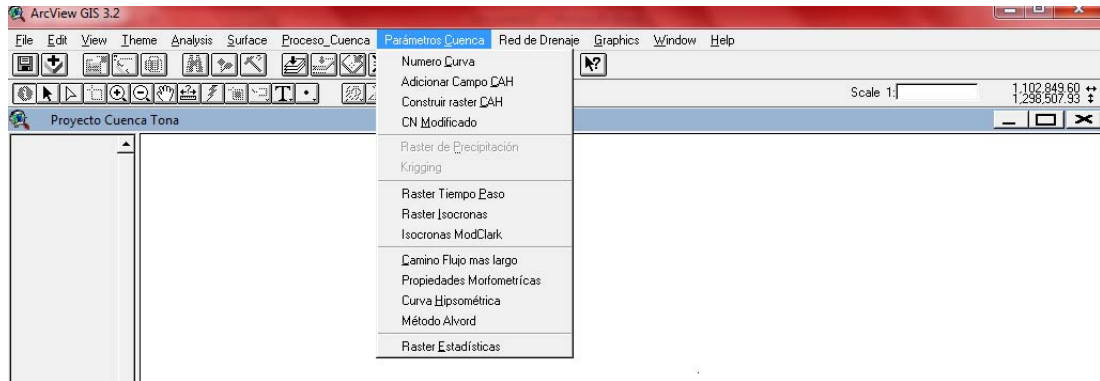
Tabla 10 Tabla de Pendientes

Symbol	Value	Label
	0 - 9.921	0 - 9.921
	9.921 - 19.842	9.921 - 19.842
	19.842 - 29.763	19.842 - 29.763
	29.763 - 39.684	29.763 - 39.684
	39.684 - 49.605	39.684 - 49.605
	49.605 - 59.526	49.605 - 59.526
	59.526 - 69.447	59.526 - 69.447
	69.447 - 79.368	69.447 - 79.368
	79.368 - 89.289	79.368 - 89.289
		No Data

4.3 PARÁMETROS DE LA CUENCA

Se concentran los procesos hidrológicos. (ver figura 42)

Figura 42 Parámetros Cuenca

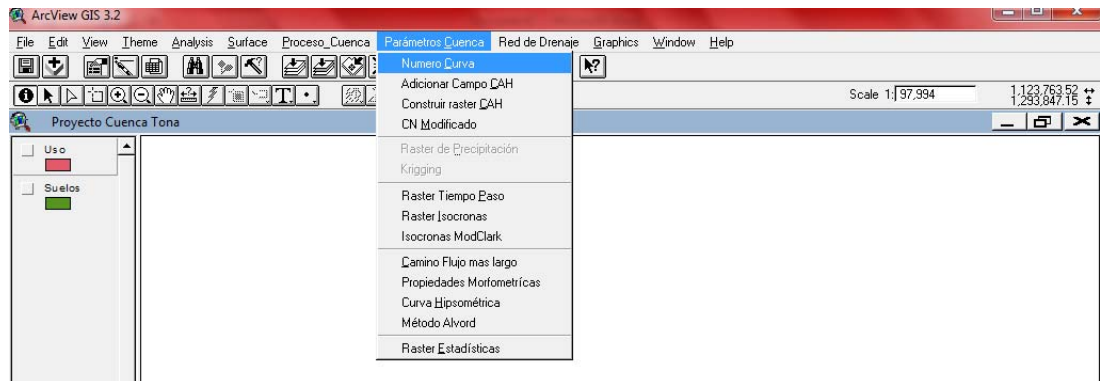


4.3.1 Número de Curva

Calcula espacialmente el valor de CN para cada celda según el tipo y uso del suelo, siendo necesaria la información de cobertura de tipo y uso del suelo. Para obtener una distribución espacial de CN se debe contar con información levantada en campo de buena calidad y además actualizada.(ver figura 43)

Se inserta el shape de uso del suelo, shape tipo de suelo las tablas de CN y clasificación del suelo

Figura 43 Número de Curva



Se selecciona el tema de suelo, Se selecciona el tema del uso, Se selecciona la tabla rcn, en Analysis Extent se escoge el utilizado para construir la cobertura de

CN, si al suelo o uso, en ejemplo el uso, como tamaño de celda 25 ya que el mapa ésta a escala 1:25000 (ver figura 44)

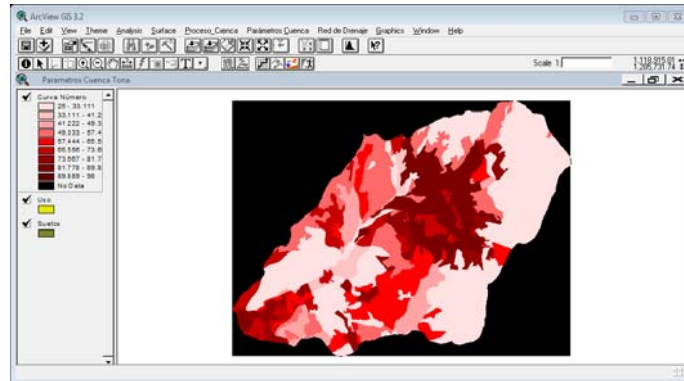
Figura 44 Pasos Numero de Curva

The figure displays three sequential dialog boxes for the SCS Curve Number tool, followed by the Raster Properties dialog.

- SCS Curva Número (Step 1):** "Seleccione el tema de Suelo." (Select the Soil theme). The dropdown menu shows "Suelos".
- SCS Curva Número (Step 2):** "Seleccione el tema de Uso de suelo." (Select the Land Use theme). The dropdown menu shows "Uso".
- SCS Curva Número (Step 3):** "Entre el nombre de la tabla de números de curva." (Enter the name of the curve number table). The text field contains "rcn.txt".
- Propiedades del raster: View1:** Shows analysis parameters:
 - Analysis Extent: Same As Uso
 - Left: 1117683.291, Top: 1293553.695053
 - Bottom: 1283536.118376, Right: 1131010.5
 - Analysis Cell Size: As Specified Below
 - Cell Size: 25 m
 - Number of Rows: 401
 - Number of Columns: 533
 - Analysis Mask: No Mask Set

Da como resultado un mapa de distribución espacial CN. (ver figura 45)

Figura 45 Mapa de Distribución Espacial CN



4.3.2 Adicionar Campo CAH (condición antecedentes de humedad)

En una tabla que contenga los datos de precipitación se le adiciona un campo con los antecedentes de lluvia, con registro de 5 días antes del evento a modelar.

En la tabla de estaciones de precipitación para el ejemplo, se encuentran los siguientes datos:

Nombre de la estación.

Latitud N.

Longitud E.

Norte

Este

Tipo.

Datos.

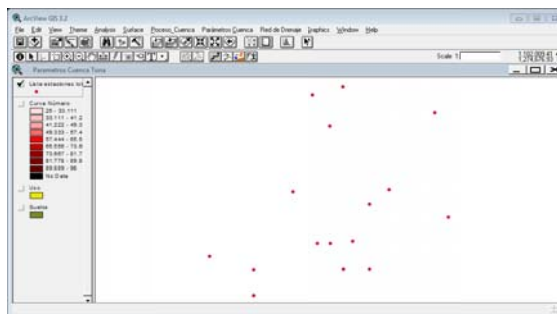
Se crea un tema de las estaciones (ver figura 46)

Figura 46 Agregar Tema



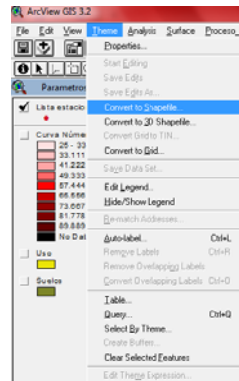
Como resultado muestra la ubicación de cada uno de las estaciones. (ver figura 47)

Figura 47 Mapa de Estaciones



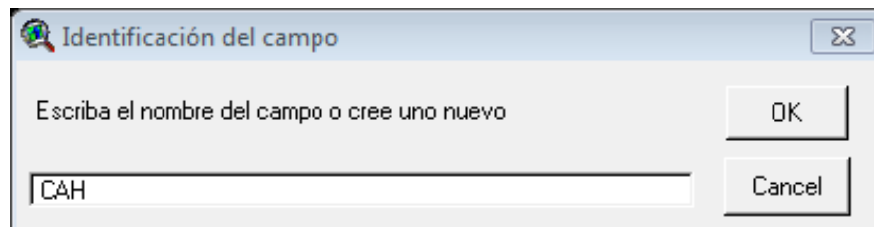
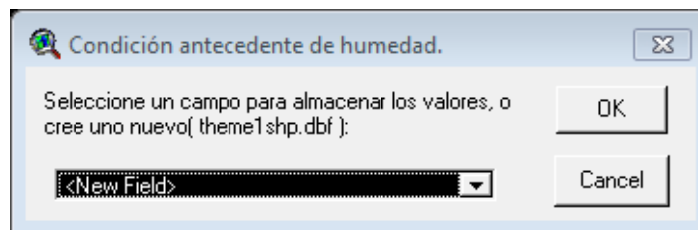
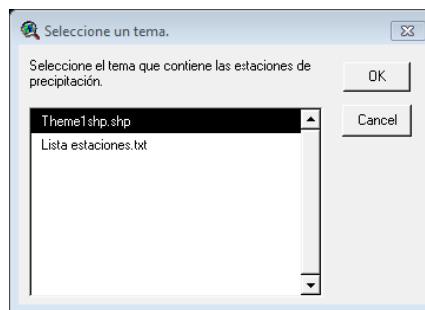
Se convierte en un archivo .shp (ver figura 48)

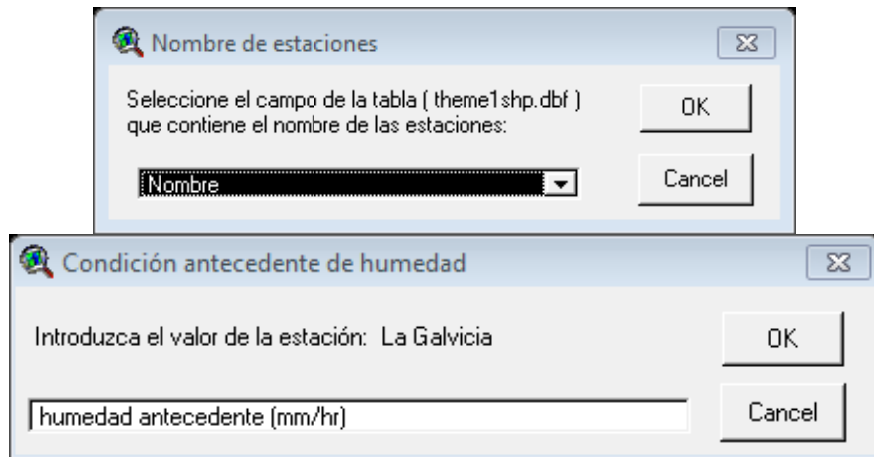
Figura 48 Mapa de estaciones a .shp



Ya con el archivo .shp se ejecuta la herramienta adicionar campo CAH. (Ver figura 49) Para cada estación se debe agregar un valor de humedad en mm/hrs.

Figura 49 Pasos para Adicionar Campo (CAH)





.Al terminar de pasar los datos correspondientes de cada estación a la tabla genera una nueva columna con los datos ingresados. (ver tabla 11)

Tabla 11 Resultado Adicionar Campo (CAH)

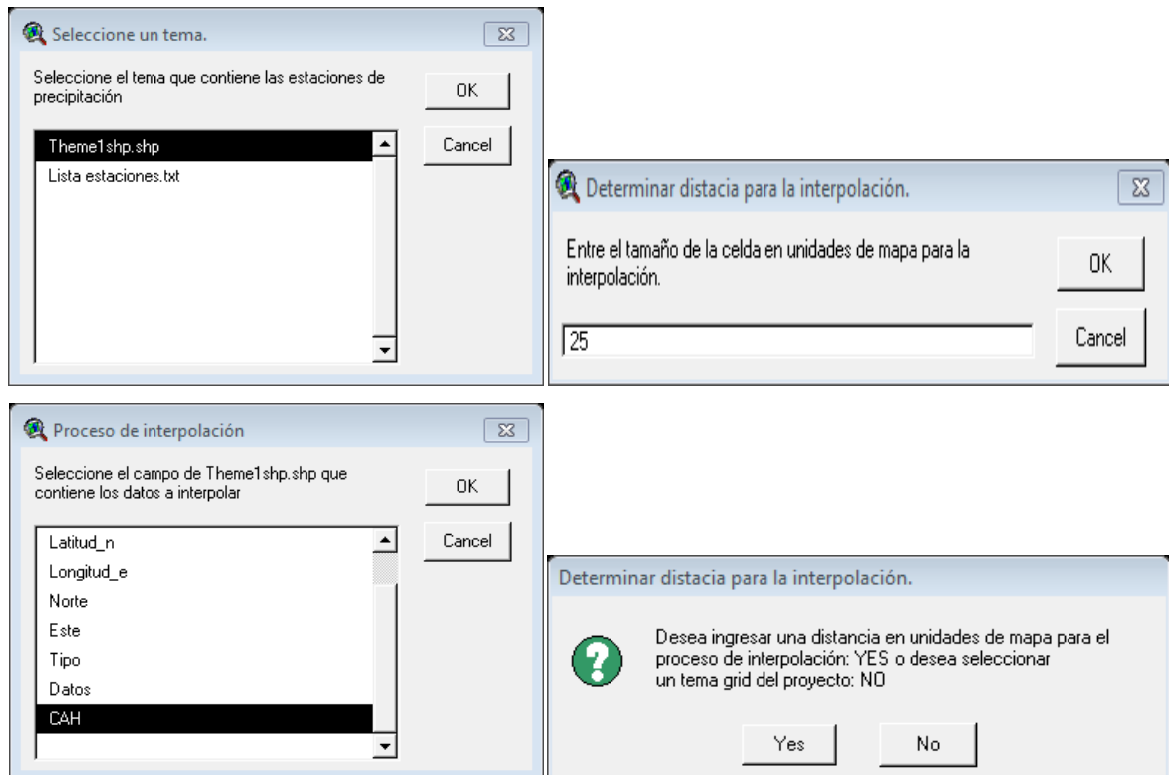
Shape	Código	Nombre	Latitud	Longitud	Norte	Este	Tipo	Datos	CAH
Point	2319040	La Galvicia	07 09	73 02	1282234	1115726	CO	Ene68...	2.00
Point	2319034	Matajia	07 13	73 04	1289600	1112027	PM	Nov67...	3.00
Point	2319045	Vetas El Pozo	07 19	72 53	1300711	1132250	PM	May77...	4.50
Point	2319030	El Picacho	07 07	72 58	1278564	1123100	PM	Jul67...	6.00
Point	2319013	Tona	07 12	72 58	1287782	1123078	PM	Jun68...	3.00
Point	2319041	Brasil	07 09	73 01	1282238	1117567	PM	Jul68-Oct71	7.00
Point	2319069	Hda Mariana	07 07	73 00	1278556	1119417	PM	Nov67-Ago68	9.00
Point	2319074	Mariana	07 07	73 00	1278556	1119417	PM	No hay	12.00
Point	3701502	Berlin	07 11	72 52	1285967	1134130	CO	Nov72...	6.00
Point	2319509	Vivero Surata	07 21	73 00	1304365	1119356	CO	Sep68...	4.00
Point	2319083	Bucaramanga	07 07	73 07	1278527	1106527	PG	Nov96...	9.00
Point	2319504	UIS	07 08	73 06	1280375	1100365	CP	Ene57...	3.00
Point	2319516	El Gramal	07 13 8.4	72 56 31	1289891	1125804	CO	No hay	7.00
Point	2319073	La Flora	07 05 0.4	73 07	1274854	1106535	PG	No hay	9.00
Point	CDMB	El Gramal	07 13 8.4	72 56 31	1289891	1125804	CO	oct84...	6.00
Point	CDMB	La Mariana	07 07	73	1278556	1119417	PM	Jul81...	4.00
Point	CDMB	La Flora	07 05 0.4	73 07	1274854	1106535	PG	Ene79...	5.00
Point	CDMB	El Roble	07 18 0.4	73 01	1299846	1117529	PM	Ago81...	5.50
Point	CDMB	El Roble	07 20 24	73 02 20	1303267	1115036	PM		6.00
Point	CDMB	La Plazuela	07 09 10	72 59 18	1282571	1120689	PG		7.00
Point	CDMB	Sta Rita					PG		6.00
Point	ACJUEDUC								5.00

4.3.3 Construir raster CAH

Se interpola la información de las estaciones para generar la distribución espacial del CAH que acabamos de crear.

El tema que creado en el numeral anterior, es el tema de la lista de estaciones de precipitación, se debe oprimir yes para dar una distancia al proceso de interpolación y El tamaño de la celda es 25 ya que el mapa se encuentra en escala 1:25000. (ver figura 50)

Figura 50 Pasos para construir raster CAH



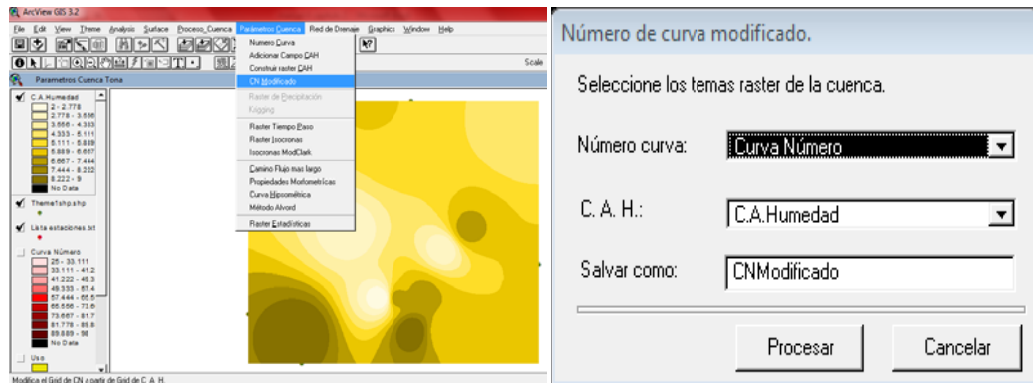
Como resultado, un raster identificando cada uno de los CAH de las estaciones o mapa distribuido de lluvia.

4.3.4 CN Modificado

Con el mapa de CN y CAH se crea un mapa de CN modificado. Con la información de la distribución se procede a calcular la distribución espacial del CN modificado. El algoritmo se encarga de evaluar cada celda de la matriz de datos y de acuerdo al valor contenido en ésta, determina a qué grupo de AMC pertenece y asigna el

valor de CN modificado utilizando las expresiones de la SCS para CN (I) y CN (III). En el cuadro de dialogo se escoge el mapa de numero de curva, click en procesar. (Ver figura 51)

Figura 51 Pasos para crear CN Modificado

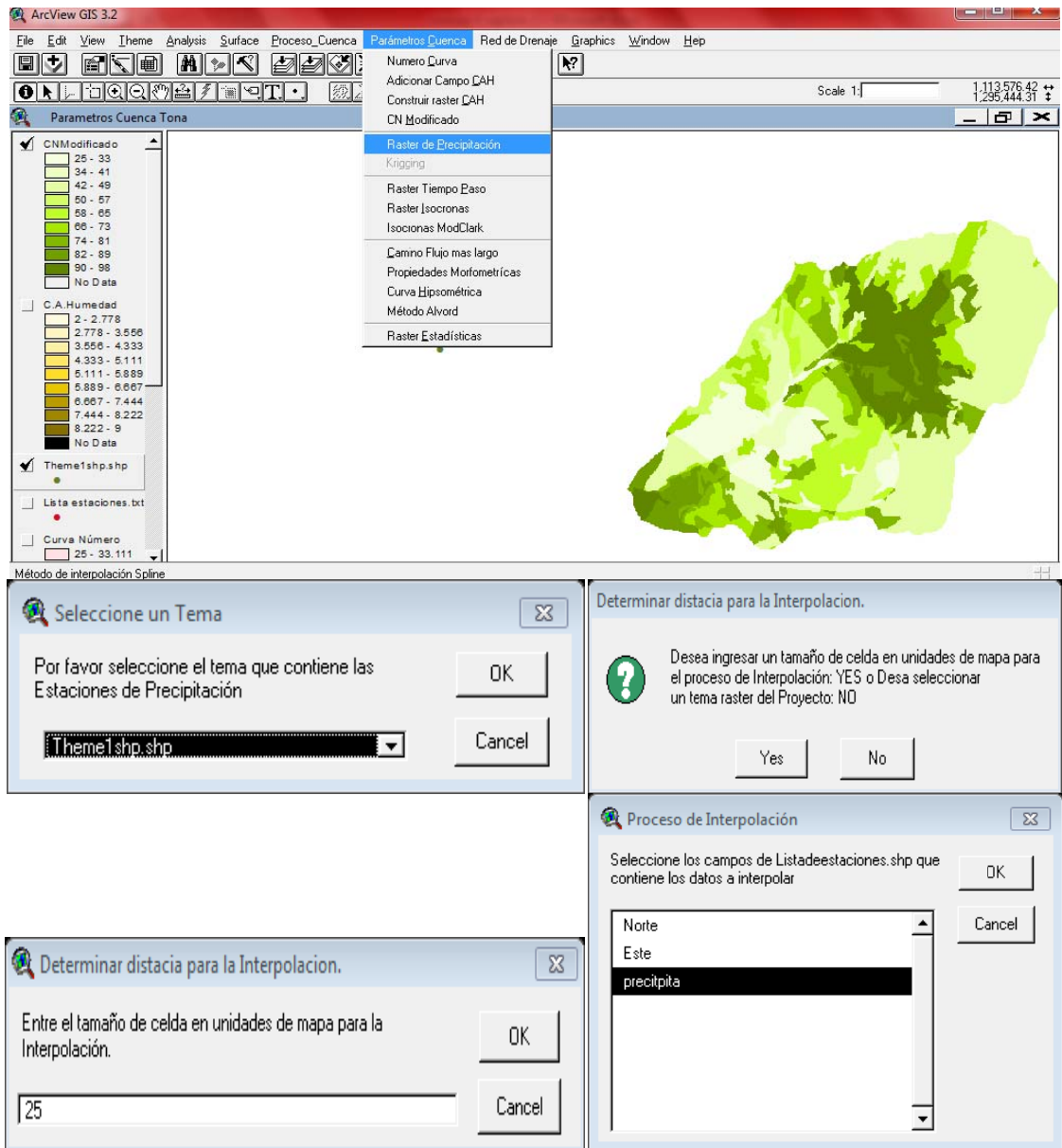


Como resultado se tiene un raster identificando cada uno d los CN modificados.

4.3.5 Raster precipitación

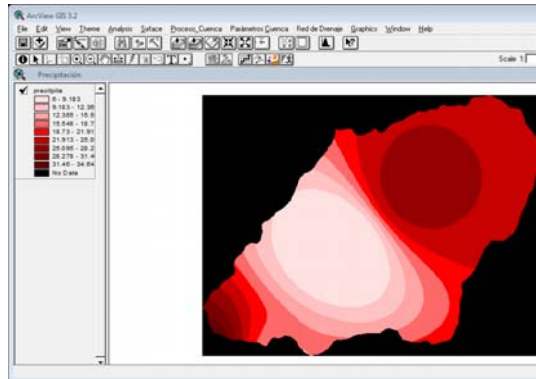
Este es otro método de interpolación, donde se interpola datos puntuales de precipitación localizados en las estaciones. Como dato de entrada el .shp de las estaciones y debe estar señalado el mapa, sale el cuadro de dialogo y se selecciona el tema o .shp donde se encuentran las propiedades de las estaciones, se da Click en yes para colocar la distancia de interpolación de cada celda, se escoge un evento de lluvia a modelar y por cada intervalo de tiempo se procede a hacer la interpolación; el intervalo de tiempo puede ser 5, 10,30 min, 1 hora o 24 horas, etc.(ver figura 52)

Figura 52 Pasos para crear Raster Precipitación



Como resultado un mapa raster de precipitación (ver figura 53)

Figura 53 Resultado Mapa Raster de Precipitación

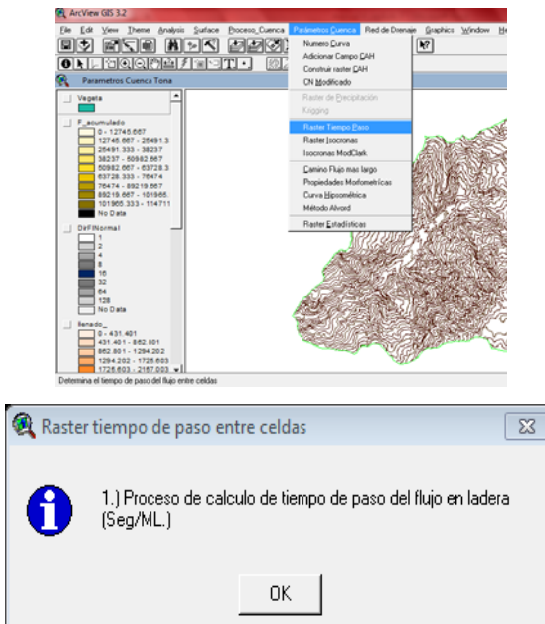


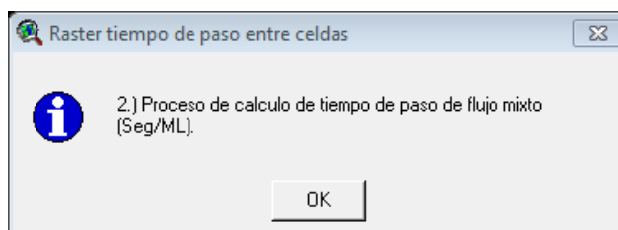
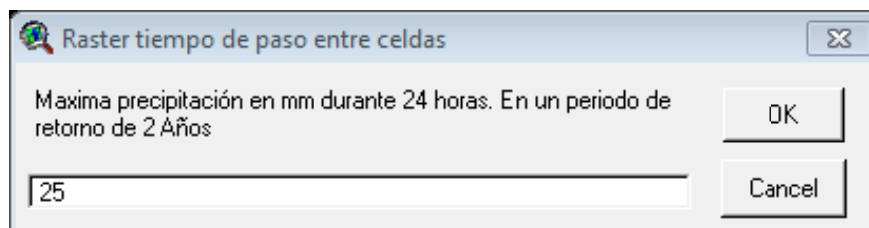
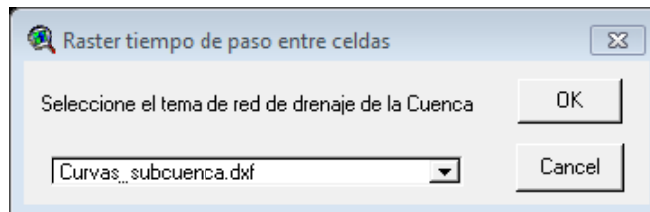
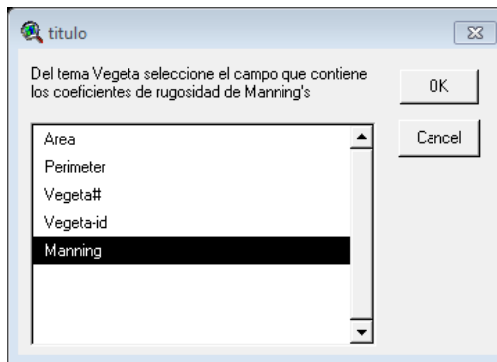
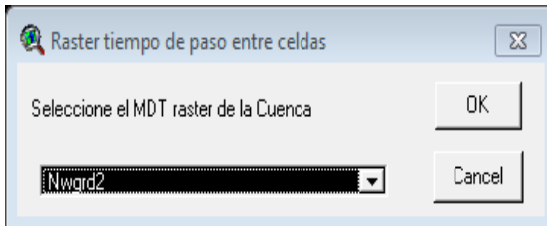
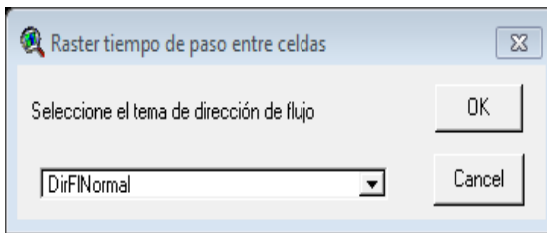
4.3.6 Raster tiempo de paso

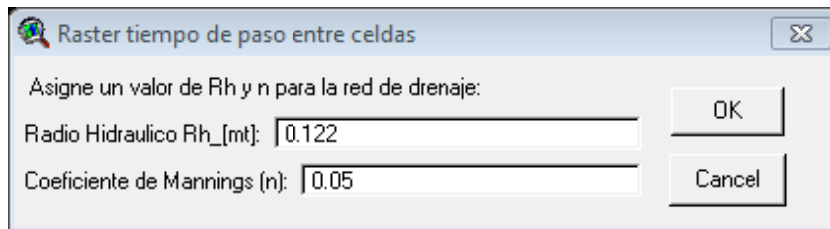
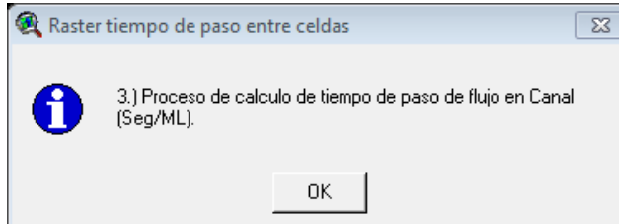
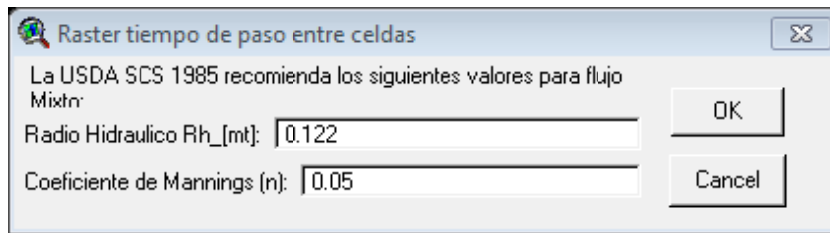
Como mapas de entrada el MDT llenado, shape de vegetación y dirección de flujo.

El proceso para generar el mapa raster de tiempo de paso. (ver figura 54).

Figura 54 Pasos para generar tiempo de paso

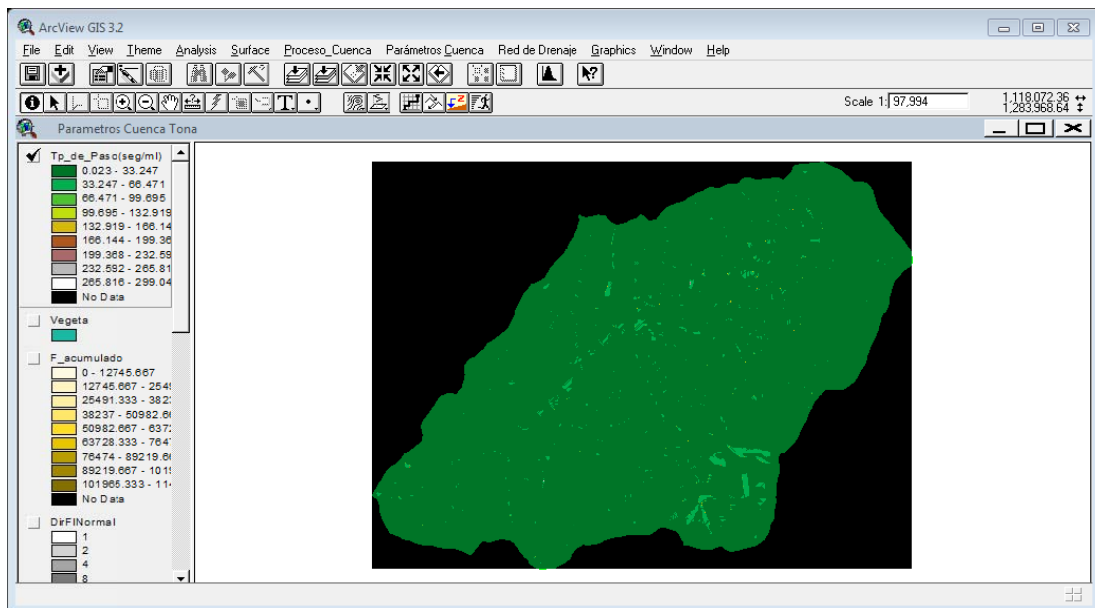






Como resultado el mapa raster de tiempo de paso. (Ver figura 55).

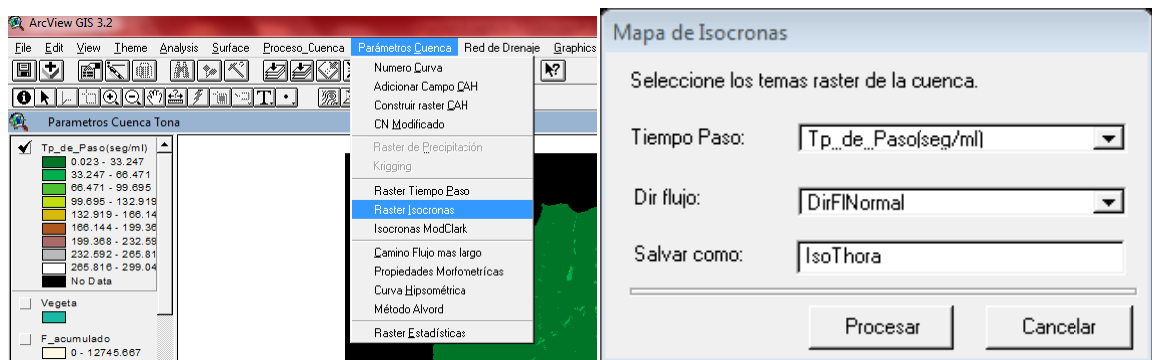
Figura 55 Mapa Raster de Tiempo de Paso



4.3.7 Raster de isócronas

Crea un mapa de tiempos de viaje desde cada celda hasta el punto de drenaje. Como mapa de entrada se debe tener; dirección de flujo y el Raster de tiempo de paso. (Ver figura 56).

Figura 56 Pasos para Raster de Isócronas

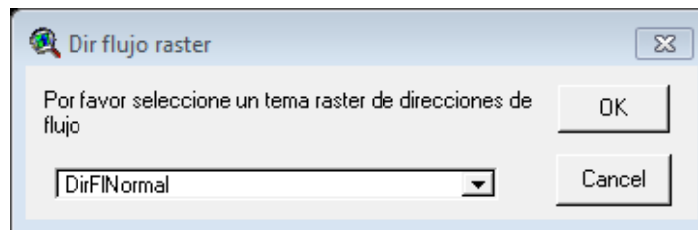
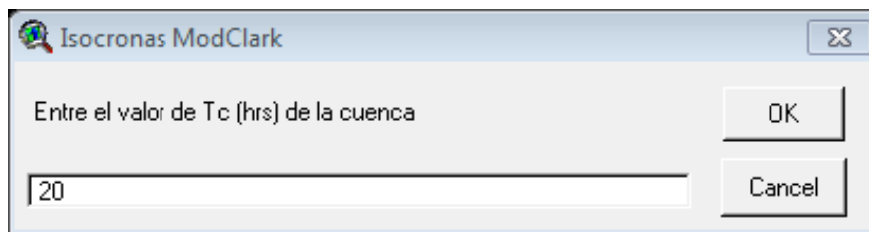
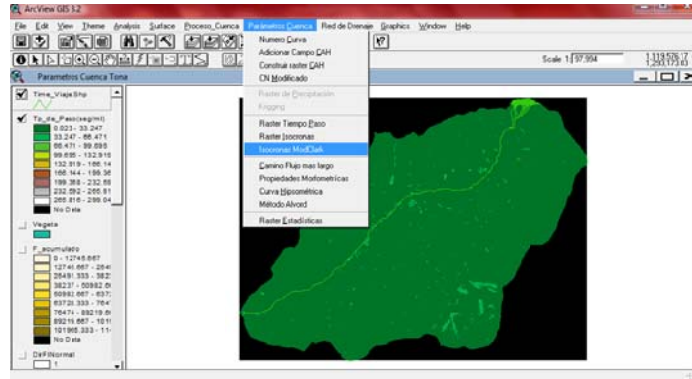


Este proceso puede tardar varias horas.

4.3.8 Isócronas Modclark

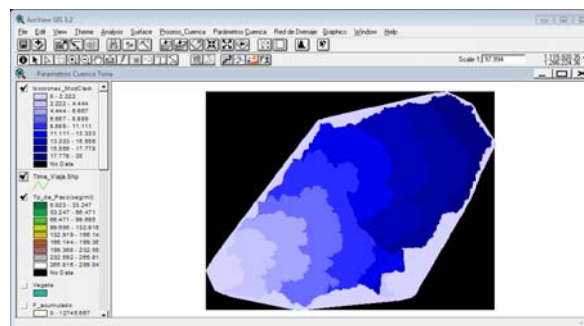
En la metodología se deja la posibilidad de generar un mapa utilizando la expresión de modclark, la cual es directamente proporcional al valor de T_c de la cuenca. Aplicando el proceso sobre la misma área, el mapa generado de isócronas se genera en 10 segundos teniendo un tamaño de celda de 25 metros. (Ver figura 57)

Figura 57 Pasos para crear Isócronas Modclark



Como resultado, un mapa de isócronas de Modclark. (Ver figura 58)

Figura 58 Resultado Isócronas Modclark



4.3.9 Camino Flujo Mas Largo

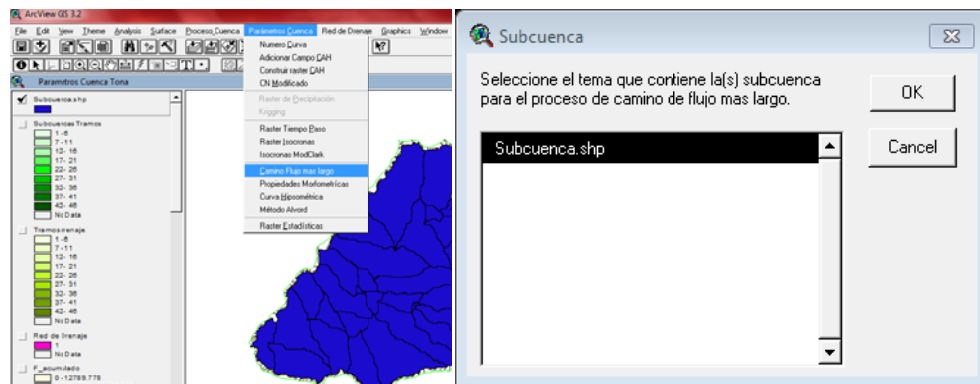
Para realizar el camino de flujo más largo, como información de entrada se debe tener los tramos de la subcuenca en formato .shp y la tabla de este archivo debe contener el nombre de cada una de las subcuencas, y el mapa de dirección de flujo. (Ver figura 59).

Se selecciona las subcuencas a las que se les va a sacar el camino mas largo. (Ver figura 60).

Si deseara tener el camino de flujo más largo de la cuenca tendría que ser un polígono de toda la cuenca, usando la herramienta subcuencas unir en el menú Proceso Cuenca.

En el mapa se muestra el camino de recorrido del agua desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de drenaje de ésta. (Ver figura 61).

Figura 59 Pasos para el Camino de Flujo más Largo.



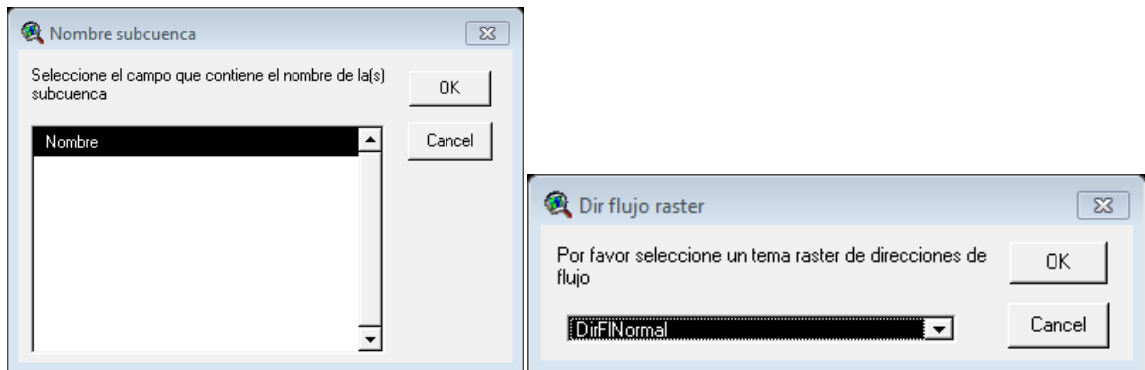
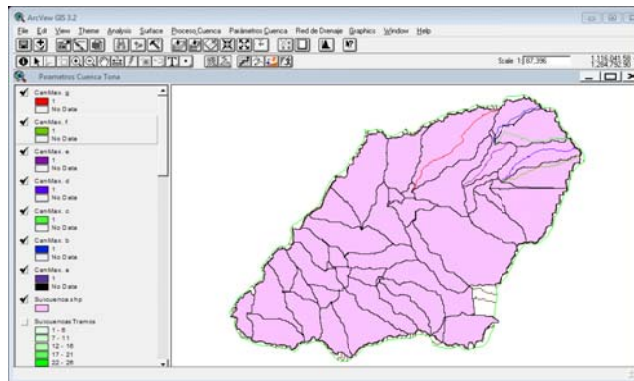


Figura 60 Selección de Cuencas

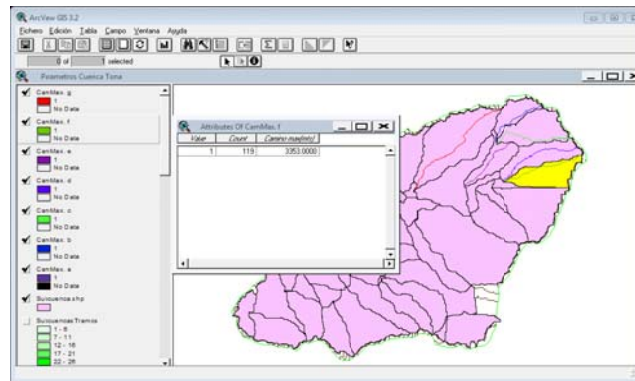
id	longitud
Polygon_1	41,6
Polygon_2	11,6
Polygon_3	4,1
Polygon_4	21,6
Polygon_5	31,6
Polygon_6	11,1
Polygon_7	41,6
Polygon_8	31,6
Polygon_9	41,1
Polygon_10	41,1
Polygon_11	41,6
Polygon_12	51,1
Polygon_13	151,6
Polygon_14	161,6
Polygon_15	121,6
Polygon_16	111,6
Polygon_17	151,6
Polygon_18	61,1
Polygon_19	111,6
Polygon_20	211,1
Polygon_21	221,6
Polygon_22	231,6
Polygon_23	181,6
Polygon_24	181,6
Polygon_25	251,6
Polygon_26	251,6
Polygon_27	261,6

Figura 61 Mapa Camino de Flujo más Largo



Para saber la longitud del camino de más largo de cada cuenca o subcuenca, abrir la tabla del Tema. (Ver figura 62).

Figura 62 Resultado Camino de Flujo más Largo



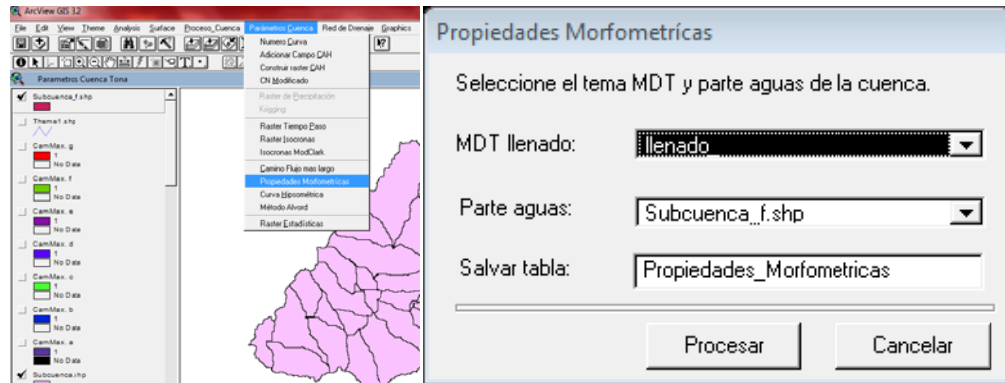
4.3.10 Propiedades Morfométricas

En esta herramienta se calcula las propiedades morfométricas de una cuenca o subcuenca:

- Área
- Min. Elevación mínima de la cuenca (Mts)
- Max. Elevación máxima de la cuenca (Mts)
- Elevacion_Media (Mts)
- Pendiente_Media (%)
- Perímetro de la cuenca (Mts)
- Kf, factor de forma
- Kc, compacidad
- Km, coeficiente de masividad

Como mapa de entrada el archivo .shp de la cuenca. (Ver figura 63).

Figura 63 Pasos de Propiedades Morfométricas



El resultado es una tabla que se llama propiedades morfométricas que contiene la información antes indicada. (Ver Tabla 12).

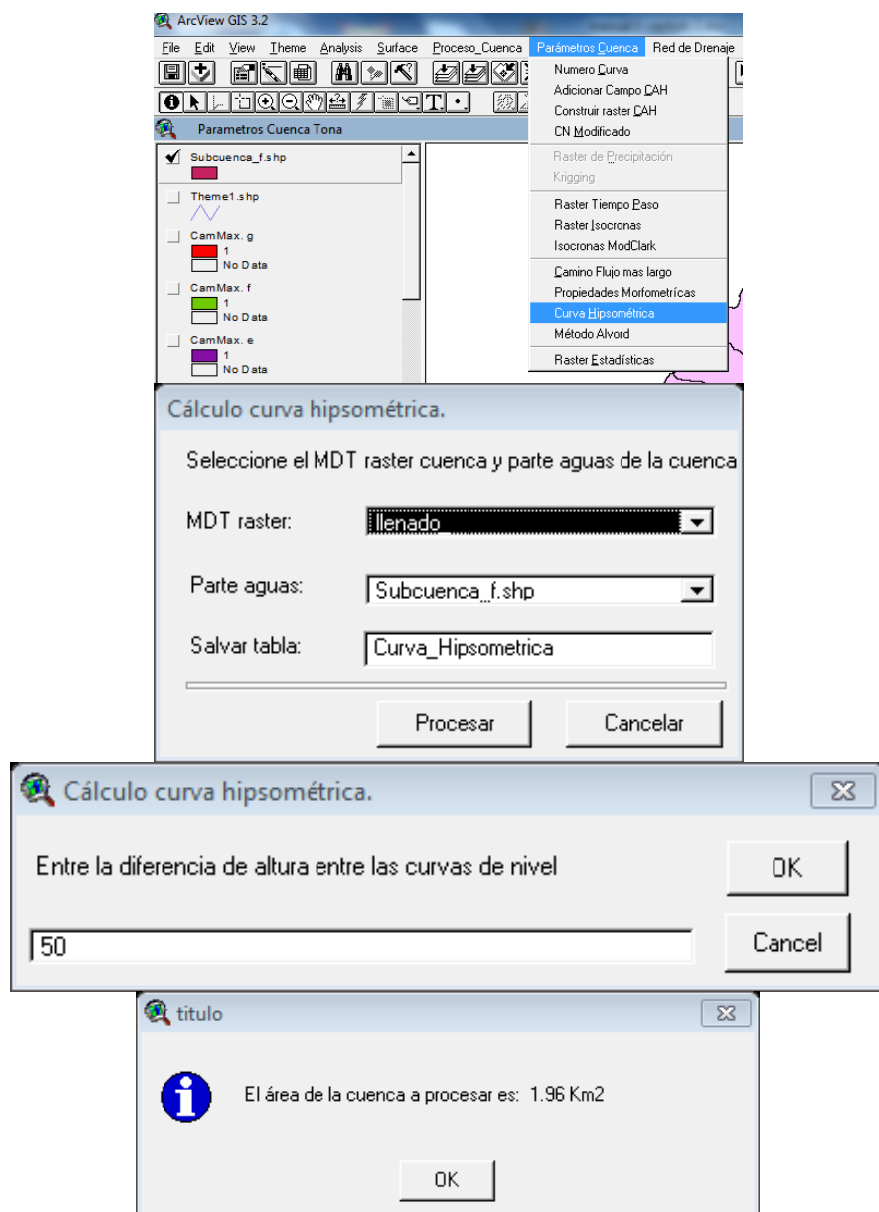
Tabla 12 Resultado Propiedades Morfometricas

Id	Count	Area	Min	Max	Elev. Mean(m)	Fend. Mean(%)	Perimetro(m)	Kf	Kc	Km
6	3136	1960000.0000	2800.0000	3845.7466	3388.5391	36.7792	8600.00	0.1797	1.7329	1728.8465

4.3.11 Curva Hipsométrica

En esta herramienta calcula la curva hipsométrica de la cuenca o subcuenca, teniendo como datos de entrada de la MDT y la subcuenca o cuenca en formato .shp. (Ver Figura 64).

Figura 64 Pasos Curva Hipsométrica



Como resultado la elevación promedio, área, Porcentaje total, Porcentaje Acumulado, y los porcentajes de la curva inferior, con un intervalo entre curvas de nivel de 50 mts (Tabla 13).

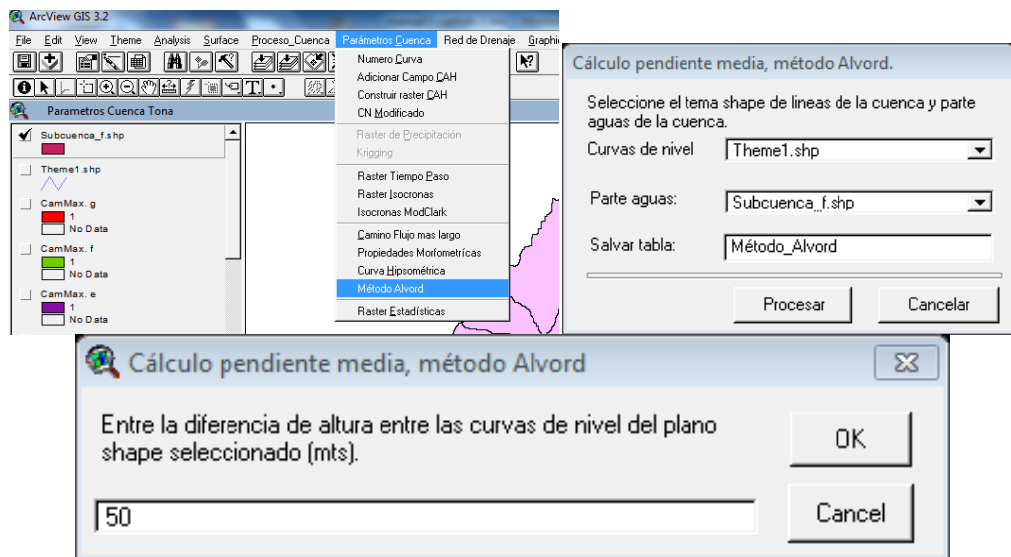
Tabla 13 Resultados Curva Hipsométrica

Cota Inf	Cota Sup	Elev. Prom	Area(Km2)	% del Total	Acumulada	%Sobre_Curva	Inf
2800.0	2850.0	2816.4	0.00438	0.22	0.00	100.00	100.00
2850.0	2900.0	2877.5	0.01563	0.80	0.22	99.78	99.78
2900.0	2950.0	2925.4	0.03000	1.53	1.02	98.38	98.38
2950.0	3000.0	2975.6	0.06125	3.12	2.55	97.45	97.45
3000.0	3050.0	3024.6	0.09500	4.34	5.67	94.33	94.33
3050.0	3100.0	3073.5	0.10438	5.33	10.01	89.39	89.39
3100.0	3150.0	3123.0	0.10063	5.13	15.34	84.56	84.56
3150.0	3200.0	3172.6	0.11188	5.71	20.47	79.53	79.53
3200.0	3250.0	3224.3	0.11313	5.77	26.18	73.32	73.32
3250.0	3300.0	3274.7	0.11563	5.90	31.95	68.35	68.35
3300.0	3350.0	3325.6	0.11125	5.68	37.85	62.15	62.15
3350.0	3400.0	3375.0	0.11313	5.77	43.53	56.47	56.47
3400.0	3450.0	3424.8	0.12188	6.22	49.30	50.70	50.70
3450.0	3500.0	3474.1	0.13375	6.82	55.62	44.48	44.48
3500.0	3550.0	3522.0	0.13813	7.05	62.34	37.56	37.56
3550.0	3600.0	3573.6	0.11813	6.03	69.39	30.51	30.51
3600.0	3650.0	3625.1	0.13437	6.86	75.42	24.58	24.58
3650.0	3700.0	3672.7	0.13125	6.70	82.28	17.72	17.72
3700.0	3750.0	3722.4	0.10375	5.29	88.98	11.32	11.32
3750.0	3800.0	3769.1	0.07437	3.79	94.27	5.73	5.73
3800.0	3845.7	3819.7	0.03612	1.95	98.06	1.34	1.34

4.3.12 Método Alvord

Calcula la pendiente media de la cuenca, utilizando como información de entrada las curvas de nivel en .shp y la subcuenca o cuenca que estamos analizando. (Ver figura 65).

Figura 65 Pasos Método Alvord



Como resultado la tabla del método de Alvord, elevación, longitud, longitud total, el área y la pendiente en porcentaje de la subcuenca seleccionada. (Ver Tabla 14)

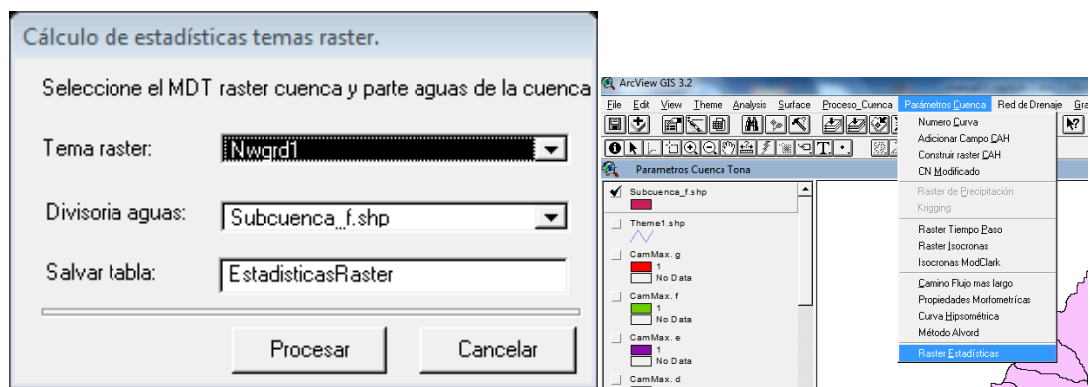
Tabla 14 Resultados Metodo Alvord

Elevation	Longitud (m)	Longitud Tot.	(Cuenca, Longitud (m))	Área(m²)	Pendiente (%)
2100.00000	99.827	0.086	0.00000	1.950	2252.2
2100.00000	645.525	0.645	0.00000	0.000	0.0
2070.00000	1395.730	1.396	0.00000	0.000	0.0
3400.00000	1275.815	1.276	0.00000	0.000	0.0
2600.00000	1028.539	0.163	0.00000	0.000	0.0
3600.00000	2340.054	2.346	0.00000	0.000	0.0
3600.00000	4772.544	4.773	0.00000	0.000	0.0
3400.00000	13191.302	13.191	0.00000	0.000	0.0
2970.00000	5231.166	5.232	0.00000	0.000	0.0
3700.00000	3972.092	3.972	0.00000	0.000	0.0
3050.00000	4626.261	4.456	0.00000	0.000	0.0
3050.00000	1334.377	1.335	0.00000	0.000	0.0
3900.00000	51.436	0.051	0.00000	0.000	0.0
2700.00000	514.475	0.515	0.00000	0.000	0.0
3000.00000	95.724	0.096	0.00000	0.000	0.0
3000.00000	225.639	0.226	0.00000	0.000	0.0
3000.00000	9.962	0.010	0.00000	0.000	0.0
3700.00000	159.284	0.159	0.00000	0.000	0.0
3400.00000	103.687	0.104	0.00000	0.000	0.0
3500.00000	120.452	0.120	0.00000	0.000	0.0
3400.00000	1009.956	1.010	0.00000	0.000	0.0
0.00000	395.318	0.395	0.00000	0.000	0.0
2600.00000	22276.761	22.277	0.00000	0.000	0.0
1400.00000	3292.269	3.293	0.00000	0.000	0.0
2400.00000	29384.525	29.385	0.00000	0.000	0.0
1600.00000	8301.958	8.302	0.00000	0.000	0.0
2200.00000	20745.745	20.746	0.00000	0.000	0.0

4.3.13 Raster Estadísticas

Esta herramienta genera valores estadísticos de cualquier mapa Raster. Como dato de entrada el mapa de agua divisoria, para el ejemplo la F. (Ver Figura 66).

Figura 66 Pasos Raster Estadísticas



Como resultado una tabla de los datos estadísticos. (Ver tabla 14).

Idrew	Count	Area	Min	Max	Range	Mean	Std	Sum
1	4225	2640625 0000	0.0000	3845.7466	3845.7466	3318.3601	465.9529	14020071.000

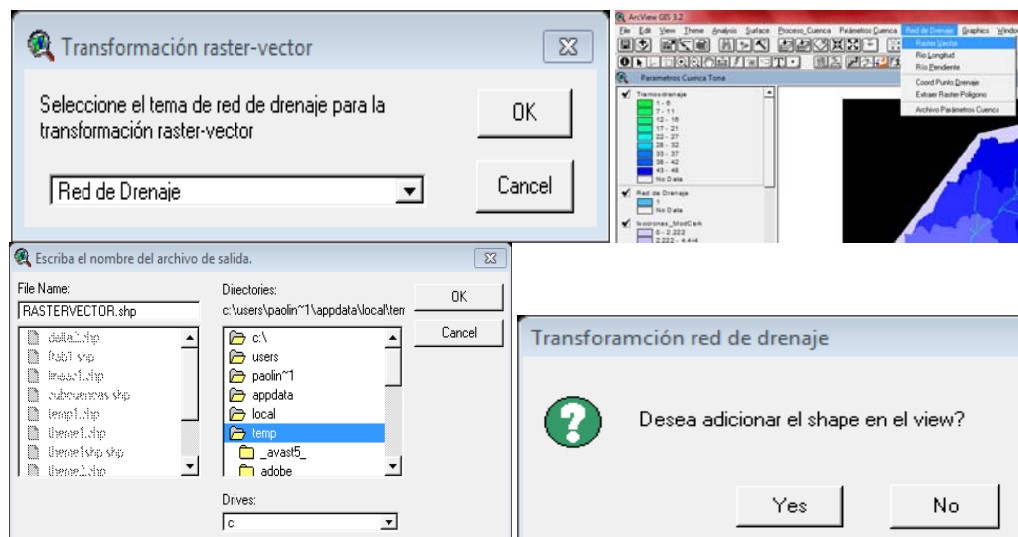
4.4 RED DE DRENAJE

Esta herramienta obtiene los atributos de la red de drenaje, localizar un punto espacialmente a partir de coordenadas del mismo y cortar el área de interés de un mapa raster mediante un polígono.

4.4.1 Raster vector

Transforma una red de drenaje de estructuras raster a vectorial, teniendo como información de entrada, la red de drenaje raster, que se desarrollo en el sub-menú Parámetros Cuenca. (Ver figura 67).

Figura 67 Pasos Raster Vector



Como resultado el mapa vectorial de red de drenaje. (Ver figura 68) y una tabla (Ver Tabla 15).

Figura 68 Mapa Raster Vector

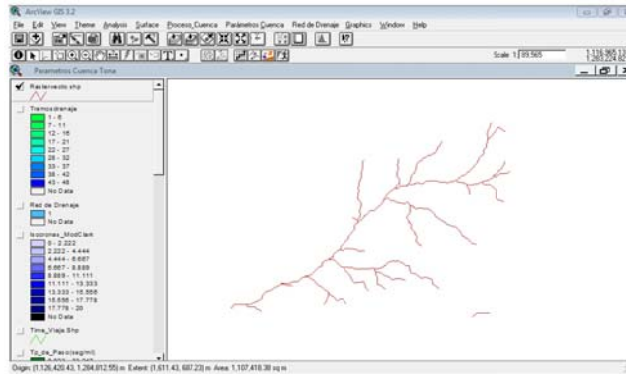


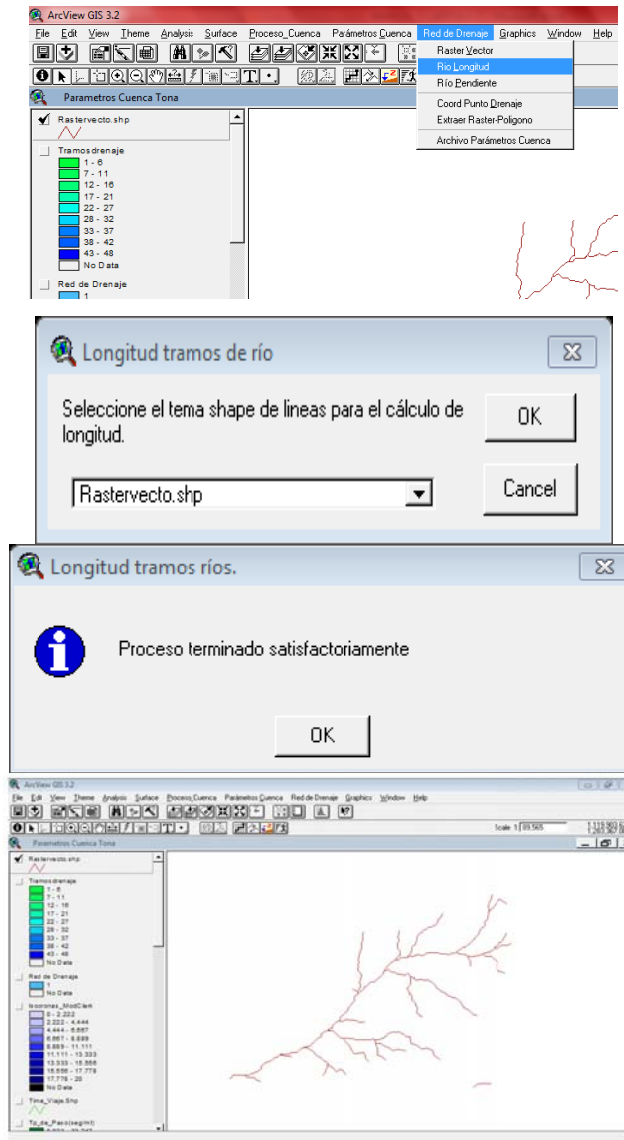
Tabla 15 Resultado Raster Vector

Shape	id_rio	id_rio_corte	Flow_order	To_river
Polylines	1	1	1	3
Polylines	2	1	3	4
Polylines	3	1	4	2
Polylines	4	1	3	5
Polylines	5	1	6	4
Polylines	6	1	9	11
Polylines	7	1	11	10
Polylines	8	1	12	5
Polylines	9	1	13	11
Polylines	10	1	6	14
Polylines	11	1	14	15
Polylines	12	1	14	16
Polylines	13	1	15	12
Polylines	14	1	16	17
Polylines	15	1	16	12
Polylines	16	1	12	16
Polylines	17	1	15	13
Polylines	18	1	19	17
Polylines	19	1	19	13
Polylines	20	1	7	20
Polylines	21	1	20	19
Polylines	22	1	18	21
Polylines	23	1	22	20
Polylines	24	1	13	21
Polylines	25	1	22	24
Polylines	26	1	25	26
Polylines	27	1	8	26

4.4.2 Río longitud

Para cada tramo de Río de la red de drenaje se calcula la longitud, teniendo como información de entrada el shape de ríos elaborado en el numeral anterior. (Ver figura 68).

Figura 69 Pasos Rio Longitud



Como informacion de salida, una columna nueva que se llama Río longitud donde da en mts cada una de los tramos de la red. (Ver Tabla 16).

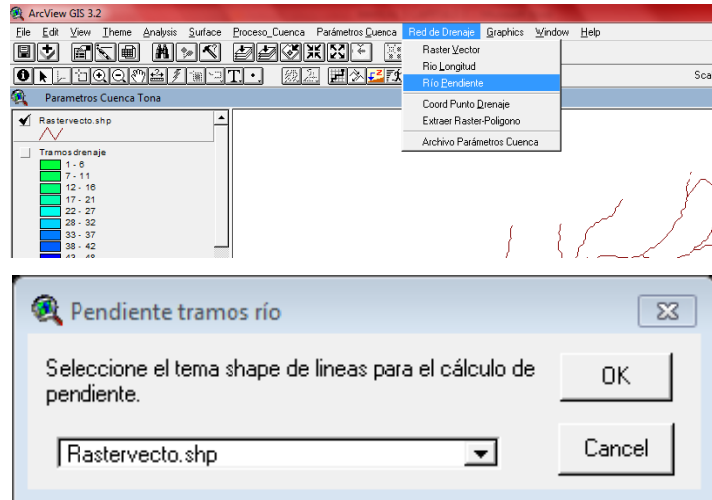
Tabla 16 Resultado Rio Longitud

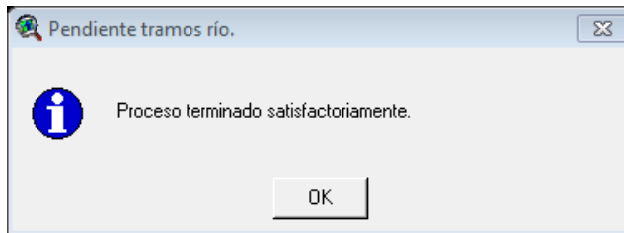
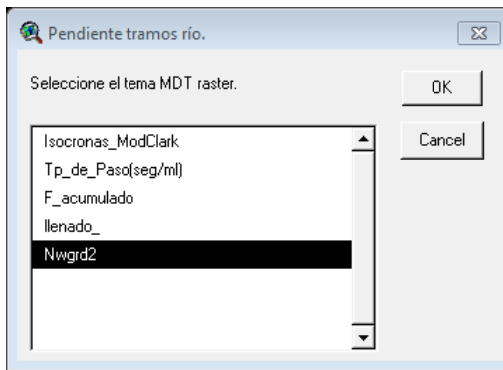
Shape	Area	Length	Area	Length
Polilinea 1	1	1	3	709.42
Polilinea 2	1	3	4	25.00
Polilinea 3	1	4	2	569.17
Polilinea 4	1	3	5	25.00
Polilinea 5	1	3	4	50.00
Polilinea 6	1	3	11	625.34
Polilinea 7	1	11	10	305.35
Polilinea 8	1	12	5	2197.12
Polilinea 9	1	13	11	497.40
Polilinea 10	1	6	14	2292.74
Polilinea 11	1	14	15	25.36
Polilinea 12	1	14	18	25.36
Polilinea 13	1	15	17	25.36
Polilinea 14	1	16	17	25.36
Polilinea 15	1	16	12	2012.45
Polilinea 16	1	12	10	466.29
Polilinea 17	1	15	19	55.50
Polilinea 18	1	19	17	55.50
Polilinea 19	1	18	13	634.45
Polilinea 20	1	17	20	1318.46
Polilinea 21	1	20	19	534.07
Polilinea 22	1	18	21	499.63
Polilinea 23	1	20	20	640.69
Polilinea 24	1	13	23	1303.52
Polilinea 25	1	22	24	1196.59
Polilinea 26	1	25	26	207.96
Polilinea 27	1	8	26	2996.36

4.4.3 Río pendiente

Calcula la pendiente promedio de los tramos de la red de drenaje, teniendo como información de entrada, el shp. de ríos y MDE.. (Ver Figura 70).

Figura 70 Pasos Río Pendiente





Como resultado un campo adicional de pendiente en la tabla de atributos del tema.
(Ver Tabla 17).

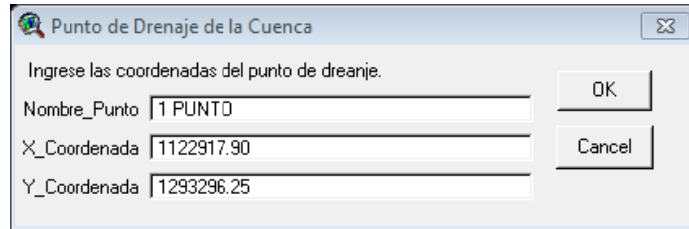
Tabla 17 Resultado Rio Pendiente

Shape	Id_rio	IdMD_raster	Fase_raster	Tp_raster	Abc_raster	Fp_raster	Rta_raster	
Polilinea	1	1	1	31	259.42	2150.00	2071.76	16.00
Polilinea	2	1	3	4	25.00	2071.76	2071.62	0.54
Polilinea	3	1	4	21	885.17	2071.62	3158.09	133.03
Polilinea	4	1	3	5	25.00	2071.76	2061.91	40.96
Polilinea	5	1	5	4	50.00	2061.91	2071.62	20.22
Polilinea	6	1	5	11	825.34	2060.95	2060.00	25.32
Polilinea	7	1	11	10	705.35	2060.00	3028.34	29.65
Polilinea	8	1	12	9	2157.11	2060.00	2061.51	21.29
Polilinea	9	1	13	11	497.43	2059.59	2060.00	18.18
Polilinea	10	1	6	14	2252.74	2150.00	2150.00	23.99
Polilinea	11	1	14	15	25.36	2150.00	2150.00	0.00
Polilinea	12	1	14	16	25.36	2150.00	2150.00	0.00
Polilinea	13	1	15	17	25.36	2150.00	2150.00	0.00
Polilinea	14	1	16	17	25.36	2150.00	2150.00	0.00
Polilinea	15	1	16	12	2012.45	2150.00	2050.00	17.29
Polilinea	16	1	12	18	466.20	2050.00	2050.00	10.12
Polilinea	17	1	15	19	95.90	2150.00	2123.28	47.79
Polilinea	18	1	19	17	95.90	2123.28	2150.00	47.79
Polilinea	19	1	19	13	634.45	2050.00	2159.99	29.15
Polilinea	20	1	7	20	1318.46	2085.31	2050.00	16.33
Polilinea	21	1	20	18	505.07	2050.00	2123.28	14.48
Polilinea	22	1	19	21	495.51	2050.00	2050.00	21.94
Polilinea	23	1	22	20	640.03	2011.43	2050.00	5.94
Polilinea	24	1	13	23	1393.92	2039.99	3009.79	21.03
Polilinea	25	1	22	24	1136.59	2011.43	2150.00	11.58
Polilinea	26	1	25	26	231.92	1985.79	1980.00	2.27
Polilinea	27	1	9	26	256.26	2250.00	1980.00	13.64

4.4.4 Coordenadas punto drenaje

Inserta un nuevo punto de interés particular, en un tema existente de puntos. (Ver Figura 71).

Figura 71 Pasos Para Coordenadas Punto drenaje



Punto de Drenaje de la Cuenca

Ingrese las coordenadas del punto de drenaje.

Nombre_Punto: 1 PUNTO

X_Coordenada: 1122917.90

Y_Coordenada: 1293296.25

OK

Cancel

4.4.5 Red de drenaje

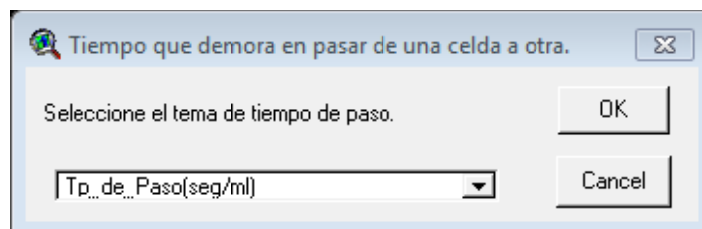
Otra posibilidad para generar la red de drenaje de la cuenca sin tener en cuenta un valor de umbral, es a partir de los puntos altos de información de cauce en canal. Se crea una nube de puntos, serian las cabeceras de formación de los ríos y afluentes; con la información del mapa de dirección de flujo se procede a trazar una línea para cada punto buscando el camino de máxima pendiente, para continuar el recorrido del flujo hasta llegar a un punto de drenaje o salida del flujo en la cuenca.

4.4.6 Recorrido de flujo

Para generar el recorrido del flujo se tiene activo el mapa de direcciones de flujo en .shp, y como mapa de entrada el mapa de tiempos de paso.

Click en la celda donde inicia el recorrido de flujo. Click en ok, (Ver figura 72).

Figura 72 Pasos para recorrido de Flujo



Tiempo que demora en pasar de una celda a otra.

Seleccione el tema de tiempo de paso.

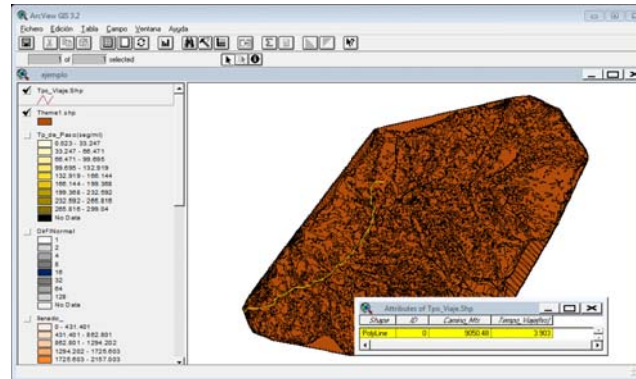
Tp...de...Paso(seg/ml)

OK

Cancel

como resultado el recorrido el mts y el tiempo de viaje en hrs. (Ver figura 73).

Figura 73 Mapa resultado Recorrido de Flujo

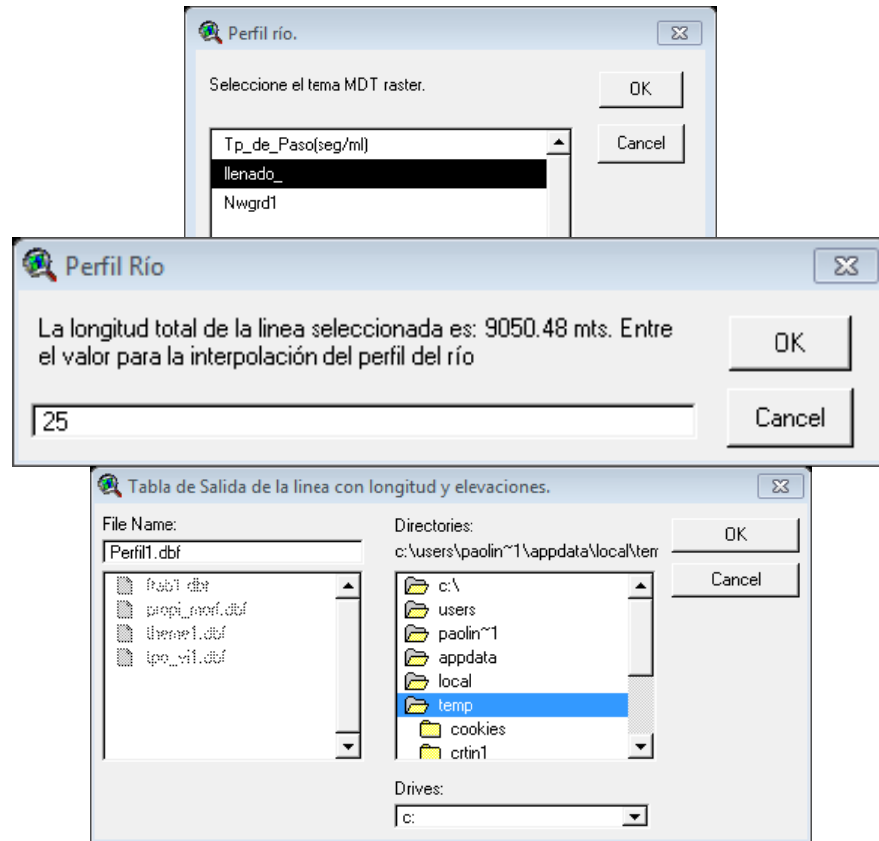


4.4.7 Perfil Rio

Se solicita al usuario el intervalo de distancia para calcular los valores de altura, teniendo como información base el MDE, seleccionado previamente, que genera un grafico con el perfil de la línea y un archivo de texto con los datos que se utilizaron para la construcción del perfil. (Ver figura

La información de este archivo ayuda con el cálculo del tiempo de concentración de la cuenca de estudio.

Figura 74 Pasos Perfil Rio



Como resultado la tabla exportada a Excel. Con distancias y elevaciones. (Ver Tabla 18).

Tabla 18 Resultado Perfil Rio

NUM	DISTANCE	ELEVATION	TYPE	PER_DIST
0	0.0	2352.6		0.0000
1	25.0	2342.9		0.2762
2	50.0	2334.9		0.5525
3	75.0	2326.9		0.8287
4	100.0	2318.9		1.1049
5	125.0	2310.9		1.3811
6	150.0	2302.9		1.6574
7	175.0	2298.0		1.9336
8	200.0	2289.2		2.2098
9	225.0	2280.4		2.4861
10	250.0	2271.7		2.7623
11	275.0	2195.8		3.0385
12	300.0	2180.5		3.3147
13	325.0	2165.0		3.5910
14	350.0	2150.0		3.8672
15	375.0	2131.1		4.1434
16	400.0	2111.1		4.4197
17	425.0	2108.3		4.6959
18	450.0	2100.0		4.9721
19	475.0	2100.0		5.2483
20	500.0	2100.0		5.5246
21	525.0	2100.0		5.8008

4.4.8 Java (cálculo del hidrograma)



Cada uno de los mapas que intervienen en el proceso de lluvia escoorrentía, como los mapas de precipitación por cada intervalo de hora, el mapa de isócronas, el mapa de números de curva y un archivo de control de especificaciones del evento a modelar, son convertidos a archivos de texto para que sean compatibles con la herramienta Java (Ver Figura 75).

Figura 75 Java Modelado Distribuido de Lluvia escoorrentía.

Propiedades Cuenca	
Nombre proyecto:	Cuenca Quebrada el Peñon
Fecha Inicio:	07/05/01
Hora Inicio:	24:00
Fecha Fin:	08/05/01
Hora Fin:	07:00

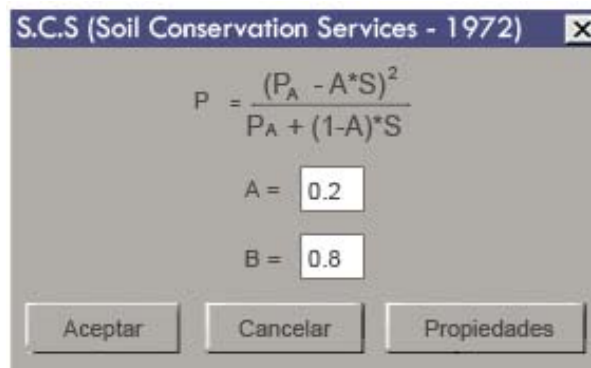
Precipitación	
Unidades	Intervalo
mm	1 Hora
Almacenamiento R(horas):	Tamaño Celda (mts)
9	25

El usuario debe indicar cada una de las opciones para que se pueda procesar el archivo; todos los mapas convertidos a archivos de texto son almacenados en directorios específicos previamente creados. El módulo se compone de cuatro menús:

Archivo: Se encarga de leer automáticamente todos los archivos necesarios para el modelado y visualiza algunas propiedades a manera de información como el área de cada celda que se está usando.

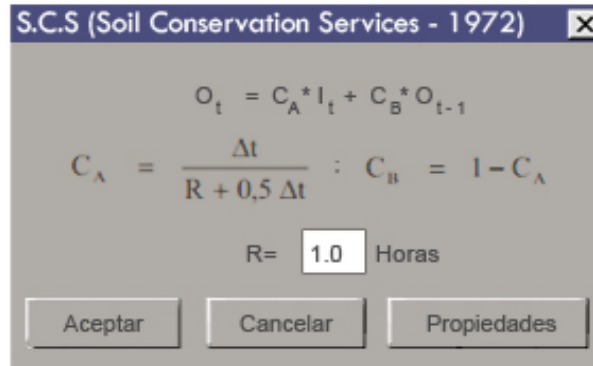
Módulo de pérdidas: Toma los archivos de precipitación y de números de curva para trabajar con el modelo matemático de la SCS y generar la información de precipitación efectiva. Cuando se corre el módulo de pérdidas por medio de una interfaz, el usuario puede cambiar o ajustar algunos parámetros propios del modelado matemático.(Ver figura 76).

Figura 76 Soil Conservation Services Modulo de Perdidas.



Módulo escorrentía: Inicialmente aparece desactivado, pero al correr el módulo de pérdidas inmediatamente se activa. Este módulo lee el archivo de isócronas y los archivos generados de precipitación efectiva para trabajar con el módulo matemático de ModClark. Tiene una interfaz donde indica las ecuaciones a utilizar y la opción de ingresar o cambiar el valor de coeficiente de almacenamiento de la cuenca (R). (Ver Figura 77).

Figura 77 Soil Conservation Services Modulo de Escorrentia.



Módulo de Resultados: Presenta los resultados del caudal generado de la precipitación en el punto de drenaje de la cuenca y en cada intervalo de tiempo. El informe de resultados del comportamiento de la cuenca a través del tiempo se realiza por medio de dos opciones:

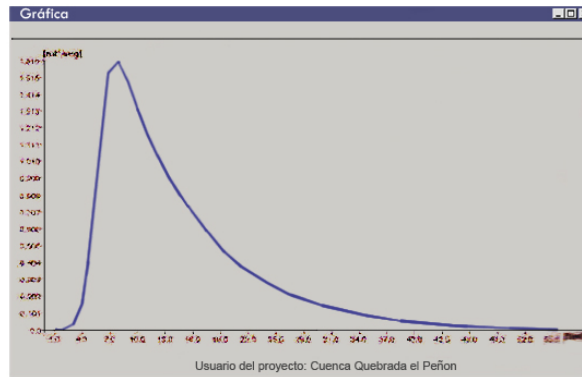
1. una tabla en donde se consigna los valores de lluvia, precipitación efectiva y los valores de caudal. (Ver Tabla 19).

Tabla 19 Modulo de Resultados

Intervalo	Lluvia (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/s)
1	96.180 515	8.871 314	0	0	0	0
2	200.892 438	44.252 624	0 0 3	0 300	0 101	0
3	269.388 662	91.472 822	0 122	0 387	0 030	0 324
4			0 497	0 351	0 030	0 624
5		2 14	1 318	0 174		0 167
6		5 591	3 00	0 562		0 360
7		8 634	6 117	1 347		0 555
8		1 396	0 320	1 937		1 30
9		0 964	0 18	1 817		1 585
10		0 04	0 503	1 5		1 580
11		0	0 62	1 346		1 422
12				1 232		1 22
13				1 026		1 100
14				0 803		1 010
15				0 691		0 912
16				0 771		0 810
17				0 901		0 72
18				0 977		0 653
19				0 967		0 584
20				0 491		0 525
21				0 442		0 460
22				0 395		0 419
23				0 364		0 375
24				0 317		0 335
25				0 252		0 3

2. Una grafica de caudal vs tiempo (hidrograma), indiferente a la opción escogida por el usuario. La herramienta permite imprimir los anteriores resultados o generar archivos de texto para que sean compatibles con otro software. (Ver Figura 78).

Figura 78 Hidrograma.



5. CONCLUSIONES

- Al tener las bases de hidrología se puede usar la herramienta ARcuenca, que agiliza de una forma práctica el análisis hidrológico de una cuenca
- El manual permite el uso apropiado y eficiente de la herramienta
- Con el uso de la herramienta se da la oportunidad que en el curso de hidrología se haga el estudio de las cuencas mediante un análisis distribuido
- Es una herramienta que se puede adquirir fácilmente y de fácil manejo por lo tanto gracias al manual puede ser empleada por los ingenieros y estudiantes que la requieran.

6. RECOMENDACIONES

El proyecto queda abierto para su estudio y verificación de la herramienta ARCuena.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] HEC-HMS. Hydrologic Modeling System. Us Army Corps of Engineering. Hidrologic Engineering Center. Technical Reference Manual.157p.
- [2] Ven Te Chow. Hidrología Aplicada v.et al 1996. Professor of Hydrosystems Engineering. Editorial McGraw-Hill Bogotá – Colombia
- [3] FAO. 1990. Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas en America Latina. Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Manejo de Cuencas Hidrográficas. Santiago, Chile 36p.
- [4] Jimenez H. 1992. Hidrología Básica 1. Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle de Cali, Colombia 187 p.
- [5] Ing. Luis Capacho, 2003. Trabajo de investigación, Modelado espacialmente distribuido de cuencas hidrográficas soportado sobre SIG. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia 183p.
- [6] Esri. 1989: user guide. Arc/Info. Volume 2. Command References. Environmental System Research Institute. Redlands, California.
- [7] corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, Plan de Ordenamiento Ambiental Territorial Microcuenca Río Tona Gradex 2001.
- [8] Horton, R.E. (1945): “ Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative geo-morphology”. Geological Society American Bulletin, 56(3): 275-370.