



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“Manual de Introducción al Manejo de
Arcview Aplicado a Hidrología”**

TESIS PROFESIONAL

Para obtener el título de:
INGENIERO CIVIL

Presenta

P.I.C. Eva María González Zetina

Asesor

M.I. Juan Pablo Molina Aguilar

Área

Hidráulica

Morelia, Michoacán.
Abril, 2012.

Dedicatorias

•A mis padres:

Inocente González Arellano y Eva Zetina Quiroz. Son los principales elementos en toda mi vida, gracias a ustedes he llegado hasta aquí. Gracias por alentar en mí la importancia del estudio y ayudarme a cumplir todos mis sueños y metas. Los amo tanto como ustedes a mí.

•A David:

Conoces perfectamente lo que representas en mi vida, eres sin duda la inspiración de todo lo que hago. Gracias por todo lo que me has brindado a lo largo de más de 5 años, tanto en lo académico como en lo personal. Y principalmente gracias por no permitir que abandonara este camino y hacerme sentir orgullosa de lo que soy.

•A mis hermanos:

Fabrizio, Alejandro, Óscar y Daniela. Gracias por acompañarme en este difícil camino de la vida y permitirme aprender de sus experiencias. Gracias por sus cuidados y apoyo.

Agradecimientos

A M.I. Juan Pablo Molina Aguilar

No existen palabras para englobar todo lo que quiero agradecerte, porque desde mi primer día en el laboratorio me brindaste tu confianza y también tu tiempo cada vez que necesité ayuda. Gracias por, además de ser mi asesor de tesis y en su tiempo coordinador de mi servicio social, ser un amigo, un guía y un ejemplo en mi vida académica y profesional.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Por recibirme en esta casa del conocimiento desde mis estudios de bachillerato y permitirme aprender de grandes ingenieros. Y principalmente por poder decir con honor que soy nicolaita.

Al personal del Laboratorio de Hidráulica “Ing. David Hernández Huéramo”

M.C. Guillermo Benjamín Pérez Morales, Ing. Jorge Leonel Ángel Hurtado y M.I. Jesús Martín Caballero Ulaje, por crear un ambiente de confianza y respeto para los prestadores de servicio social y permitirme transmitir el conocimiento a mis compañeros. Al Dr. Constantino Domínguez Sánchez y Dra. Sonia Sánchez Quispe por continuar con esta labor.

A mis amigos

Isacc, Alejandra R., Julio Daniel, Carmencita, Alejandra S., Vanessa, Karina, Francisco. A quienes con orgullo puedo llamar mis hermanos aunque no compartamos la sangre, han sido un apoyo fundamental en mi vida y les agradezco en gran medida, su lealtad, su tiempo y su cariño. Gracias por compartir su vida personal y académica conmigo.

A mis compañeros y amigos del Laboratorio de Hidráulica

A todos los prestadores de servicio social de este año les agradezco infinitamente su compañía, sus sonrisas y su apoyo. A ustedes debo haber realizado con gozo mi trabajo en un ambiente armonioso y fraternal.

R esumen

Hoy en día resulta de vital importancia que los conocimientos teóricos vistos en las aulas de enseñanza, puedan ser usados y aplicados a casos prácticos, lo cual se incrementa si se habla específicamente de Ingeniería Civil. Esto debido a que para un estudiante de dicha profesión es más sencillo comprender los conocimientos al momento de emplearlos en caso de la vida laboral.

Por lo anterior este tipo de método empírico de aprendizaje es muy socorrido por los profesores de Ingeniería Civil en cualquiera de sus ramas, en este caso en particular se habla sobre el área de Hidráulica explícitamente de Hidrología Superficial, la cual forma parte del mapa curricular de la carrera y el principal objetivo de ésta es que el alumno sea capaz de realizar un estudio hidrológico y, a su vez, comprendiendo los conceptos que éste engloba.

Un estudio hidrológico no deriva en algo simple, de hecho es lo contrario porque conforme se avanza en su elaboración se podría observar que la cantidad de información requerida es extensa y manejarla de manera “tradicional” puede llegar a ser ineficiente e impreciso, por todos los factores humanos de los que dependen los cálculos. Entonces es conveniente tener las herramientas indicadas para evitar errores, es aquí donde un sistema de información geográfica puede aportar mayor exactitud y rapidez cuando se manejan conjuntos de datos considerablemente grandes.

El principal sistema de información geográfica (SIG) que sirve de apoyo para la realización de un estudio hidrológico es el conocido como “Arcview”, y a pesar de que es distinguido entre la población estudiantil no todos pueden manejarlo de forma correcta necesitando así una guía durante el proceso. Y es precisamente ese el objetivo de este manual orientar al estudiante de Ingeniería Civil o áreas afines en el uso del programa para elaborar un estudio hidrológico.

Sin importar su procedencia todos los manuales coinciden en una característica: claridad, esto es para que el lector no se sienta perdido en algún momento del procedimiento, por esto se observará que se hace uso constantemente de imágenes que son la manera más directa para visualizar una acción.

En el primer capítulo de este trabajo se proyectan las preguntas claves sobre el mismo para conocer su función, sus objetivos, sus limitaciones y su importancia, esto es la base para comprender de qué se está hablando. Así mismo se observan definen términos teóricos que serán usados a lo largo del trabajo.

En el segundo capítulo se habla más específicamente de los sistemas de información geográfica, desde su historia hasta sus alcances, esto con el fin de que se conozca y entienda que es un sistema de información geográfica con todo lo que engloba. Se podrá apreciar que esta clase de sistemas no es propia de la Ingeniería ya que tiene una amplia gama de campos donde es posible hacer uso de él.

Como todo proceso tiene una metodología, en el tercer capítulo se describe la forma en que fue surgiendo el manual, desde la concepción de la idea hasta plasmarla en un escrito detallado.

Los resultados obtenidos son presentados en el cuarto capítulo, explícitamente ahí se encontrará el manual elaborado para la realización de un estudio hidrológico apoyado en Arcview, siendo éste prácticamente independiente de lo anterior. Así mismo se evalúa la funcionalidad del manual.

Por último en el quinto capítulo se exponen las conclusiones a las que se llegaron después de finalizar el trabajo y haciendo una comparación con los objetivos propuestos.

Índice

	<i>Página</i>
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Hipótesis.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.4 Importancia.....	3
1.5 Limitaciones.....	3
1.6 Definición de términos.....	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 Introducción.....	12
2.2 Antecedentes.....	13
2.3 Definición e importancia de los Sistemas de Información Geográfica.....	14
2.4 Componentes y funciones de los Sistemas de Información Geográfica.....	14
2.5 Funcionamiento de los Sistemas de Información Geográfica.....	16
2.6 Alcances de los Sistemas de Información Geográfica.....	17
2.7 Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica.....	17
3. METODOLOGÍA.....	19
3.1 Introducción.....	19
3.2 Generalidades de un estudio hidrológico	19
3.3 Proceso de elaboración del manual.....	21
4. RESULTADOS.....	22
4.1 Introducción.....	22
4.2 Manual de introducción al manejo de Arcview aplicado a Hidrología.....	23
4.3 Evaluación de aplicabilidad del manual	24
5. DISCUSIÓN.....	26
5.1 Conclusiones.....	26
5.2 Recomendaciones.....	27

Capítulo I

I ntroducción

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente resulta complicado para el estudiante entender conceptos vistos en las aulas de forma teórica sin aplicarlos a un caso práctico. En ocasiones estos casos prácticos pueden ser solucionados con el apoyo de los elementos tecnológicos, principalmente programas computacionales.

Estos programas permiten una mayor eficiencia y eficacia en la revisión y los diseños dentro del campo de la Ingeniería Civil de manera particular en el Área Hidráulica. En nuestro caso, hablamos del programa Arcview, utilizado para manejar conjuntamente información diversa de un sitio, con el objetivo de obtener datos de diseño por ejemplo área de la cuenca, pendientes medias, números de escurrimientos, por citar algunos que nos permitan la obtención de hidrogramas o bien gastos acordes a las características geomorfológicas del sitio y las condiciones climáticas y que son, generalmente, utilizados para tomar decisiones acerca del sitio en estudio.

Por ello surge la inquietud de generar un manual sobre las funciones básicas de dicho programa, que permita al alumno conocer, entender, calcular parámetros y características manualmente así como con el apoyo de tecnologías, concretar proyectos de índole académica y posteriormente proyectos laborales.

1.2 Hipótesis

Cuando se habla de un manual, se refiere a una guía para aprovechar en lo posible determinado instrumento con el objetivo de conocer, entender, manejar y dominar un conocimiento disciplinar específico.

Eso es precisamente lo que se busca al realizar este trabajo, que sea una guía para conocer y entender las funciones básicas de Arcview y aplicarlas, principalmente, a la realización de un estudio hidrológico. Por lo tanto este manual será de referencia para quien desee incursionar en el manejo de esta herramienta dentro de esta rama de la Ingeniería Civil.

1.3 Objetivos

Objetivo general

El presente *trabajo* pretende ser una herramienta útil para estudiantes de Ingeniería Civil y áreas afines para desarrollar un estudio hidrológico utilizando “Arcview”. En él se desglosa el procedimiento a seguir para realizar dicho estudio, siendo así muy explícito aún cuando no se tenga conocimiento alguno del programa, con el fin de revisar o diseñar obras hidráulicas, entre ellas presas, alcantarillas en carreteras, puentes, etc.

Objetivos particulares

- Lograr un manejo de las herramientas básicas de Arcview para realizar un estudio hidrológico.
- Hacer uso de la información característica de un sitio proporcionada por diversos organismos de informática mediante Arcview.
- Delimitar una cuenca hidrológica.
- Obtener y manipular datos de precipitación del programa ERIC para aplicarlos en un estudio hidrológico.
- Elaborar los hidrogramas y a su vez, obtener el gasto probable de dicha cuenca, conocido como gasto de diseño.

1.4 Importancia

En el área de Ingeniería Civil existe un número considerable de elementos tecnológicos para el diseño, revisión y/o análisis de obras ingenieriles, sin embargo, para poder disponer de ellos se requiere, primeramente, el entendimiento de conceptos teóricos, y, a su vez, conocer el funcionamiento de dichos elementos, de lo contrario no se alcanzará el objetivo deseado.

Es aquí donde un manual es un apoyo fundamental para hacer uso de la mejor manera de herramientas tecnológicas enfocadas a dichos conceptos teóricos. Esto debido a que en él se explica las partes esenciales del instrumento de apoyo, es decir, los elementos que lo componen, las funciones de éstos y las precauciones de uso.

Por lo tanto, contar con un manual resulta ser de gran importancia para llegar al resultado correcto utilizando elementos tecnológicos como apoyo en la solución de casos prácticos de Ingeniería.

1.5 Limitaciones

Como se menciona anteriormente, se requiere tener un conocimiento de los conceptos teóricos en los que se basa Arcview en su funcionamiento, entonces si el usuario no los posee no podrá interpretar y mucho menos manejar los resultados arrojados por el programa.

Se puede encontrar otra variable importante, en la obtención de la información requerida para trabajar el programa, debido a que los sitios que proporcionan ésta información están en actualización constante, por ello algunos pasos mencionados en este manual pueden variar con el tiempo, no obstante si el lector ha comprendido y conoce la información podrá ubicarla, descargarla y utilizarla sin mayor dificultad.

Ahora bien, el programa en sí puede presentar las siguientes limitantes; como la versión manejada en este trabajo es la versión libre 3.2, implica que algunas extensiones utilizadas en alguna versión distinta no pueden serlo en ésta versión y puede presentar falta de “potencia” en el manejo de los datos. Además, surge otro inconveniente con las extensiones, en ocasiones no se cuenta con las extensiones necesarias para realizar el estudio, siendo complicado encontrarlas y/o descargarlas de internet; a su vez, al encontrarlas y cargarlas se debe tener especial cuidado al guardarlas, para poder disponer de ellas con facilidad.

Las características del equipo donde se instale y trabaje Arcview influyen en gran medida, para poder hacer uso del programa, ya que éste sólo funciona de manera correcta en un sistema operativo de 32 bits y con memoria RAM mínima de 2GB. De lo contrario se presentará lentitud en el análisis de datos.

De acuerdo con el espacio geográfico a analizar representado en los datos numéricos de las mallas de información, puede ocasionar que el programa no pueda realizar un análisis rápido, eficaz y eficiente por ello es recomendable para subsanar esta limitante que solo se utilice la información necesaria que comprenda la zona de estudio, ya que de lo contrario los equipos tienden a *no responder* a las instrucciones solicitadas bloqueándose el equipo y con el riesgo de perder el trabajo hasta el momento realizado. Dado lo anterior es importante respaldar periódicamente el trabajo realizado en particular al finalizar una subrutina.

1.6 Definición de términos

Conceptos hidrológicos

Son aquellos términos teóricos en los que se basa el funcionamiento de Arcview más sin embargo no son perceptibles a simple vista porque la mayoría de ellos forman parte de procesos que generalmente sólo se aprecia el resultado.

Cuenca hidrológica (Aparicio Mijares, 2010)

Es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. La cual presenta las siguientes características:

Parteguas. Línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas.

Área de la cuenca. Se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteguas.

Corriente principal. Es la corriente que pasa por la salida de la cuenca.

Pendiente del cauce principal de una cuenca. Es uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta. Dado que varía a lo largo del cauce, es necesario definir una **pendiente media**; para ello existen varios métodos:

- La pendiente media aritmética es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividido entre su longitud medida en planta.
- La pendiente media ponderada es la de una línea recta que, apoyándose en el extremos de aguas debajo de la corriente, hace que se tengan áreas iguales entre el perfil del cauce y arriba y debajo de dicha línea.
- Taylor y Schwarz** proponen calcular la pendiente media como la de un canal de sección transversal uniforme que tenga la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente en cuestión, es decir hacer uso de un promedio geométrico o ponderado respecto a los cambios de pendiente a lo largo de toda la longitud.

Polígonos de Thiessen (Aparicio Mijares, 2010)

Es un método de análisis de datos de precipitación que consiste en lo siguiente:

- Unir, mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca, las estaciones más próximas entre sí. Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas.
- Trazar líneas rectas que bisectan los lados de los triángulos.
- Cada estación quedará rodeada por las líneas rectas del paso anterior, que forman los llamados **Polígonos de Thiessen**. El área encerrada por los polígonos y el parteaguas será el **área de influencia** de la estación correspondiente.

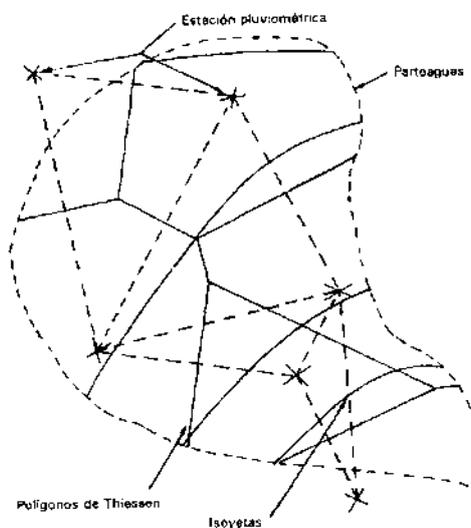


Figura 1.1 Polígonos de Thiessen (Aparicio, 2010)

Escurrimiento (Aparicio Mijares, 2010)

Se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

Periodo de retorno (T_R) (Aparicio Mijares, 2010)

Es el tiempo esperado o tiempo medio, generalmente expresado en años, entre dos sucesos improbables y con posibles efectos catastróficos. Conocido también como intervalo de recurrencia o frecuencia. Así, en ingeniería hidráulica es el tiempo medio entre dos trombas de agua por encima de un cierto caudal.

Curvas intensidad-duración-periodo de retorno ($i-d-T_R$) (Aparicio Mijares, 2010)

La relación probabilística entre la intensidad de la lluvia, su duración y frecuencia, es usualmente presentada en forma de gráficas. Estas representaciones son generalmente referidas como curvas de intensidad-duración-periodo de retorno, que resultan de unir los puntos que especifican la intensidad de la lluvia, en intervalos de diferente duración y, también en distintos periodos de retorno.

Gasto (Aparicio Mijares, 2010)

Un gasto se define como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo. En el caso del área hidrológica éste concepto es el escurrimiento superficial que depende de la interacción de las características geomorfológicas de la cuenca con las condiciones climáticas.

Hidrograma (Aparicio Mijares, 2010)

Es una representación gráfica de gastos medidos de una sección determinada, generalmente en un año, contra el tiempo en que fueron medidos. El área bajo la curva del hidrograma es el volumen total escurrido.

Conceptos geodésicos

Son aquellos que nos hablan de las representaciones de la Tierra, principalmente de cómo pasar de la forma esférica de la Tierra a una plana, con todas las modificaciones o ajustes que eso conlleva.

Longitud

Se define la Longitud (λ) de un punto P como el valor del diedro formado por el plano meridiano que pasa por P y el meridiano origen, (0° Meridiano de Greenwich). La latitud presenta un mínimo posible de 0° hasta un máximo de 180°, 0°-180°E, 0°-180° W. (Fernández-Coppel, 2001)

Latitud

Se denomina Latitud geográfica (ω) de un punto P al ángulo formado por la vertical a la Tierra que pasa por dicho punto con el plano ecuador. La vertical se considera la unión del punto con el origen o centro de la Tierra, obteniéndose la latitud midiendo el ángulo (ω) sobre el meridiano que pasa por el punto P. La latitud máxima y mínima va desde los 0° hasta los 90°, 0°-90°N, 0°-90°S. (Fernández-Coppel, 2001)

Modelo Digital de Elevación (MDE)

El nombre de Modelo Digital de Elevación (MDE) implica una representación de las elevaciones del terreno mediante valores numéricos, generalmente esta representación es una forma simplificada de la geometría de la superficie del terreno. Consiste en una serie de puntos con coordenadas conocidas referenciadas a un sistema de coordenadas bidimensionales a las que se les asocia un valor de elevación. Se ha convenido que los puntos deben estar espaciados y distribuidos de modo regular, de acuerdo con un patrón que corresponde a una cuadrícula.

Un MDE implica que el grupo de valores numéricos deba visualizarse como un "modelo" de tercera dimensión cuando se usa un equipo de cómputo. (Fernández-Coppel, 2001)

Plano de coordenadas

Es un plano formado por la intersección de dos rectas numéricas perpendiculares, utilizadas para ayudar a localizar la posición de cualquier punto en un mapa o gráfica. (Fernández-Coppel, 2001)

Proyecciones geodésicas

Las proyecciones geodésicas son proyecciones en las que la esfericidad terrestre tiene repercusión importante sobre la representación de posiciones geográficas, sus superficies, sus ángulos y sus distancias. (Fernández-Coppel, 2001)

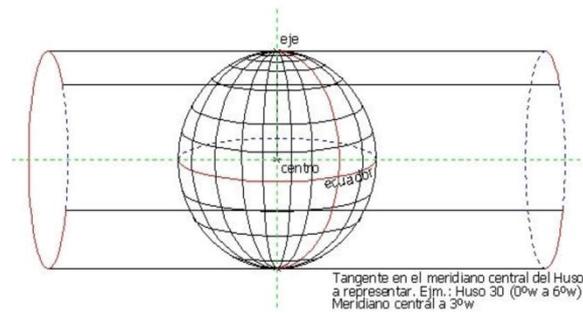


Figura 1.2 Proyecciones Geodésicas (Fernández-Coppel, 2001)

Proyección Universal Transverse Mercator (UTM)

Es un sistema en el cual se construye geoméricamente el mapa de manera que los meridianos y paralelos se transformen en una red regular, rectangular, de manera que se conserven los ángulos originales, pero distorsiona todas las superficies sobre los objetos originales así como las distancias existentes. La proyección UTM está dentro de las llamadas proyecciones cilíndricas, por emplear un cilindro situado en una determinada posición espacial para proyectar las situaciones geográficas. El sistema de proyección UTM toma como base la proyección MERCATOR, éste es un sistema que emplea un cilindro situado de forma tangente al elipsoide en el ecuador. (Fernández-Coppel, 2001)

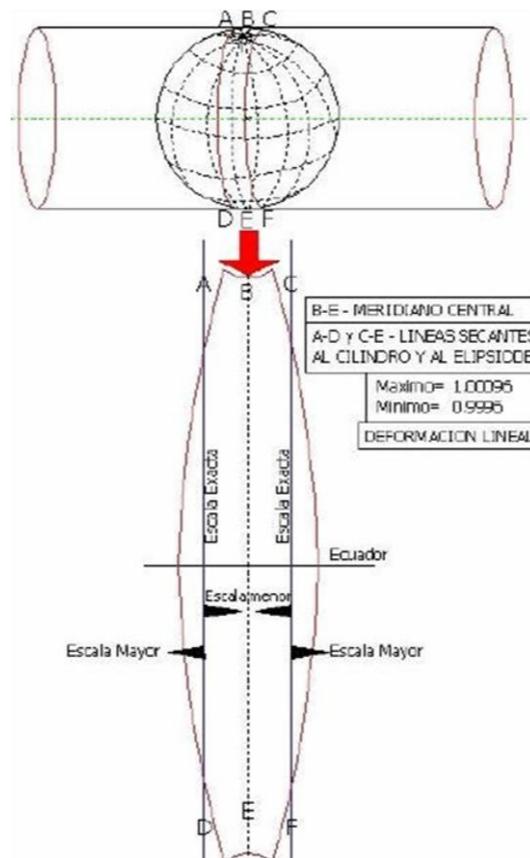


Figura 1.3 Conversión a proyección UTM (Fernández-Coppel, 2001)

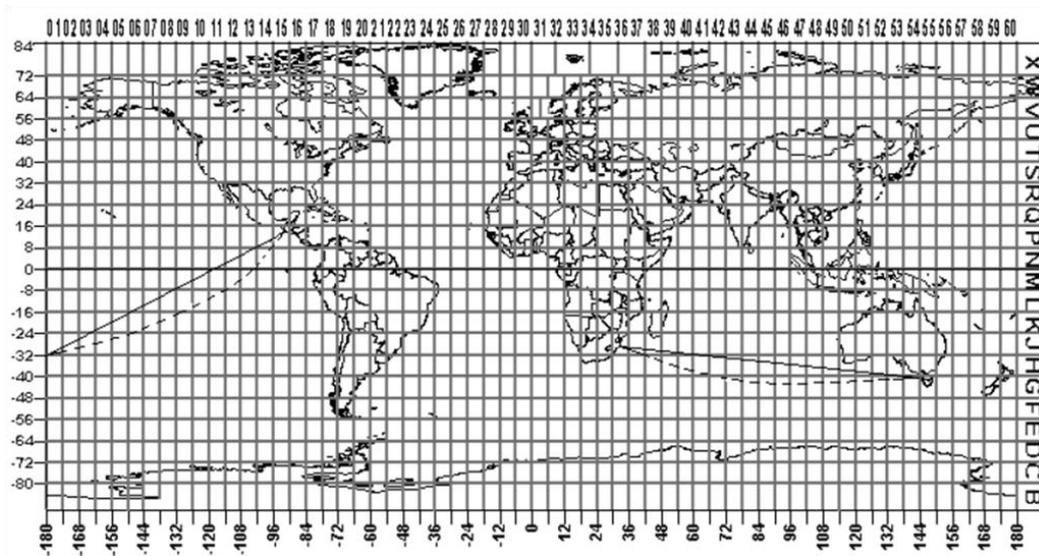


Figura 1.4 Proyección UTM (Fernández-Coppel, 2001)

Conceptos de elementos de Arcview

Son los conceptos de las partes integrantes del programa, ya sean funciones o resultados del mismo. Esto ayuda a conocer de manera esquemática el programa.

Ventana de Proyecto

Muestra los nombres de todos los documentos contenidos en un proyecto Arcview. Un proyecto organiza y almacena el estado de todos los datos contenidos en mallas, tablas, gráficos e imágenes. El proyecto gestiona cómo y dónde se despliegan dicha información, mantiene activas las selecciones de documentos y define la apariencia de la ventana de aplicación. Es el equivalente a hacer un retrato rápido del estado de Arcview en el momento de salvarlo.

Ventanas de documentos

Un proyecto puede contener muchas vistas que despliegan temas desde varias fuentes de datos. Para cada tipo de documento hay una ventana e interfaz concreta. Un proyecto puede contener múltiples vistas de la misma área o de diferentes áreas geográficas.

Vistas

Es un mapa interactivo que despliega temas de información geográfica. La ventana vista tiene dos partes, la Tabla de Contenidos (TOC) y la muestra de mapas. La Tabla de Contenidos lista los temas y muestra sus leyendas; la muestra de mapas señala los

elementos para cada tema. La vista se acompaña de los menús, botones y herramientas propias para realizar operaciones sobre vistas y temas.

Una vista despliega un mapa conteniendo cada capa de información. Por ejemplo, carreteras, límites municipales, núcleos de población y colegios.

Tema

Es un conjunto diferenciado de elementos geográficos como son municipios, calles, edificios o ríos, junto con sus atributos. Los temas pueden ser creados desde una variedad de fuentes de datos, inclusive mapas digitales existentes, imágenes y ficheros de datos tabulares. Los elementos del tema representan objetos geográficos usando tres formas básicas: puntos, líneas y polígonos.

Tabla

Es una muestra de datos tabulares. Almacenan información que describe los elementos geográficos de la vista (por ejemplo, ancho de la carretera, capacidad del colegio, etc.). Cada fila, o registro, en una tabla define un miembro del grupo representado. Cada columna o campo, define una sola característica común a todos los miembros, como el nombre del país, el número de cliente o la dirección.

Gráficos

Los gráficos representan de manera visual información tabular y proporcionan una forma adicional de visualizar datos de atributos. Se pueden usar para mostrar, comparar y consultar información de atributos. Arcview permite realizar seis tipos de gráficos. Es dinámico porque refleja el estado actual de los datos en la tabla.

Layouts “diseños”

Permiten unir los distintos tipos de documentos del proyecto y otros componentes de un mapa (escala, orientación, imágenes, cajas, etc.) para crear un mapa final que se enviará a la impresora.

Scripts “secuencias de comandos”

Es un tipo de editor de texto que se utiliza para escribir código Avenue. Los scripts Avenue son programas que permiten automatizar tareas, añadir nuevas capacidades a ArcView y construir aplicaciones.

Fichero shape

Es el formato propio de Arcview para almacenar información y atributos para un conjunto de elementos geográficos. La geometría de un elemento es almacenada como una forma que comprende un conjunto de coordenadas de vectores (punto, línea, polígono). Los tres ficheros que Arcview crea para fichero shape son:

- *.shp almacena la geometría del elemento (información sobre la forma y la localización).
- *.shx almacena el índice de la geometría de las entidades.
- *.dbf un fichero dBase que almacena la información de los atributos de los elementos.

Capítulo 2

R

evisión bibliográfica

2.1 Introducción

La tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG), constituye una de las herramientas adecuadas de manejo de información, ya que al usar el modelo de base de datos georrelacional se asocia un conjunto de información gráfica en forma de planos o mapas a bases de datos digitales.

Esto quiere decir que los SIG tienen como característica principal que el manejo de la información gráfica y alfanumérica se realiza de forma integrada, pudiendo abordar de este modo aspectos de alta complejidad relacional en el tema planteado.

Relacionar los datos alfanuméricos con los gráficos es uno de los principales desafíos técnicos, ya que no sólo es importante disponer de la estructura necesaria para la construcción, actualización y operación integral de bases de datos y viabilidad de la información, tendiendo a su manejo en tiempo real, sino que además, se requiere incorporar el concepto de información en proceso, haciendo referencia a la idea de información activa. Antes, se elaboraban modelos con programas informáticos simples que permitían arribar a resultados importantes, pero que perdían su capacidad automática y relacional cuando había que modificar la mínima información de algún plano o mapa; precisamente por la ausencia de una base de datos que articulara los datos gráficos y alfanuméricos.

La construcción de modelos y programas informáticos con alta capacidad en el manejo de los datos, puede constituir una de las herramientas adecuadas que faciliten que la toma de decisiones se realice en el momento adecuado con los actores pertinentes.

Sin duda, la tecnología SIG permite solucionar amplias necesidades técnicas y al mismo tiempo, su uso ha impulsado a una modificación estructural del accionar teórico/práctico en el planeamiento de estas soluciones.

En este capítulo se hablará sobre cómo surgieron los Sistemas de Información Geográfica debido a la necesidad de utilizar mapas para la solución de problemas de planificación y cómo han ido evolucionando dichos sistemas a través del tiempo. A su vez, se explicará qué son los Sistemas de Información Geográfica, incluyendo sus componentes y la manera en que son evaluados los datos por los SIG.

Por último, se referirá a los alcances que pueden tener los Sistemas de Información Geográfica, ya que estos resultan ser una herramienta de gran utilidad cuando se conoce de lo que son capaces de hacer con bases de datos, lo cual no se limita al área ingenieril, y, como se menciona

también al final de este capítulo, los SIG ofrecen una amplia gama de aplicaciones en distintos ámbitos sociales.

2.2 Antecedentes

En los años 1960 y 1970 surgieron nuevas tendencias en la forma de utilizar los mapas para la valoración de recursos y planificación. Dándose cuenta de que las diferentes coberturas sobre la superficie de la Tierra no eran independientes entre sí, sino que guardaban algún tipo de relación, se hizo latente la necesidad de evaluarlos de una forma integrada y multidisciplinaria. Una manera sencilla de hacerlo era superponiendo copias transparentes de mapas de coberturas sobre mesas iluminadas y encontrar puntos de coincidencia en los distintos mapas de los diferentes datos descriptivos.

Luego, esta técnica se aplicó a la emergente tecnología de la informática con el procedimiento de trazar mapas sencillos sobre una cuadrícula de papel ordinario, superponiendo los valores de esa cuadrícula y utilizando la sobreimpresión de los caracteres de la impresora por renglones para producir tonalidades de grises adecuadas a la representación de valores estadísticos, en lo que se conocía como *sistema reticular*; sin embargo, estos métodos no se encontraban desarrollados lo suficiente y no eran aceptados por profesionales que manejaban, producían o usaban información cartográfica.

A finales de los años 70's el uso de computadoras progreso rápidamente en el manejo de información cartográfica, y se afinaron muchos de los sistemas informáticos para distintas aplicaciones cartográficas. De la misma manera, se estaba avanzando en una serie de sectores ligados, entre ellos la topografía, la fotogrametría y la percepción remota. En un principio, este rápido ritmo de desarrollo provocó una gran duplicación de esfuerzos en las distintas disciplinas relacionadas con la cartografía, pero a medida que se aumentaban los sistemas y se adquiría experiencia, surgió la posibilidad de articular los distintos tipos de elaboración automatizada de información espacial, reuniéndolos en verdaderos sistemas de información geográfica para fines generales.

A principios de los años 80's, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se habían convertido en un modelo plenamente operativo, a medida que la tecnología de cómputo se perfeccionaba, se hacía menos costosa y gozaba de una mayor aceptación. Actualmente se están instalando rápidamente estos sistemas en los organismos públicos, los laboratorios de investigación, las instituciones académicas, la industria privada y las instalaciones militares y públicas.

2.3 Definición e importancia de los Sistemas de Información Geográfica

Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos.

Los SIG son una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.

Se pueden encontrar variaciones en las definiciones de los SIG que existen, por ejemplo algunas de ellas acentúan su componente de base de datos, otras sus funcionalidades y otras enfatizan el hecho de ser una herramienta de apoyo en la toma de decisiones. Pero en todas ellas se refieren a los SIG como un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas vitales para el desarrollo nacional, incluyendo la relacionada con la infraestructura de un municipio, estado o incluso a nivel nacional.

Existen otras definiciones que al leerlas se puede pensar en algo muy complejo, sin embargo resulta sencillo de comprender si se le percibe como un programa de cómputo, igual que una hoja de cálculo o un procesador de textos, a diferencia que en los SIG se tienen programas como Arcinfo, Geomedia o Geographics, por mencionar algunos.

En términos prácticos, la función principal de los SIG es contar con cartografía con bases de datos asociadas, con la misión principal de resolver problemas espaciales o territoriales; es decir, un programa que permita manejar conjuntamente la cartografía y las bases de datos alfanuméricas asociadas.

Es precisamente ahí donde radica la importancia de éstos sistemas, debido a que las soluciones para muchos problemas frecuentemente requieren acceso a varios tipos de información que sólo pueden ser relacionadas por geografía o distribución espacial. Y solamente los SIG permiten almacenar y manipular información usando geografía para analizar patrones, relaciones y tendencias en la información, todo esto pretendiendo contribuir a la toma de decisiones.

2.4 Componentes y funciones de un Sistema de Información Geográfica

Componentes

Un Sistema de Información Geográfica está compuesto esencialmente por: hardware, software, información, personal y métodos.

Hardware.

Los SIG corren en un amplio rango de tipos de computadoras desde equipos centralizados hasta configuraciones individuales o de red, una organización requiere de hardware suficientemente específico para cumplir con las necesidades de aplicación.

Software

Los programas SIG proveen las herramientas y funcionalidades necesarias para almacenar, analizar y mostrar información geográfica, los componentes principales del software SIG son:

- Sistema de manejo de base de datos.
- Una interface grafica de usuarios (IGU) para el fácil acceso a las herramientas.
- Herramientas para captura y manejo de información geográfica.
- Herramientas para soporte de consultas, análisis y visualización de datos geográficos.

Actualmente la mayoría de los proveedores de software SIG distribuyen productos fáciles de usar y pueden reconocer información geográfica estructurada en muchos formatos distintos.

Información

El componente más importante para un SIG es la información. Se requiere de adecuados datos de soporte para que el SIG pueda resolver los problemas y contestar a preguntas de la forma más acertada posible. La consecución de datos correctos generalmente absorbe entre un 60 y 80% del presupuesto de implementación del SIG, y la recolección de los datos es un proceso largo que frecuentemente demora el desarrollo de productos que son de utilidad. Los datos geográficos y alfanuméricos pueden obtenerse por recursos propios u obtenerse a través de proveedores de datos. Mantener, organizar y manejar los datos debe ser política de la organización.

Personal

Las tecnologías SIG son de valor limitado si no se cuenta con los especialistas en manejar el sistema y desarrollar planes de implementación del mismo. Sin el personal experto en su desarrollo, la información no se actualiza y se maneja erróneamente, y, el hardware y el software no se manipulan en todo su potencial.

Métodos

Para que un SIG tenga una implementación exitosa debe basarse en un buen diseño y reglas de actividad definidas, que son los modelos y prácticas operativas exclusivas en cada organización.

Funciones de los SIG

Los programas SIG tienen una serie de funciones diseñadas para la gestión de información geográfica:

- Captura, registro y almacenamiento de datos: el paso de información analógica en papel, a formato digital de una computadora; esto se puede realizar de varias maneras como digitalización, vectorización, importación y otras.
- Estructuración de datos y manipulación: creación de bases de datos, de nueva cartografía.
- Proceso, análisis y gestión de datos: topología, consultas gráficas, alfanuméricas, combinadas, superposición de planos e información.

- Creación de salidas: impresión de informes, graficación de planos y publicación en diversos formatos electrónicos.

Toda la generación de nueva información que puede proveer un SIG depende significativamente de la información que posee la base de datos disponible. La calidad de esta base de datos y sus contenidos determinan la cantidad y calidad de los resultados obtenidos del SIG.

2.5 Funcionamiento de los Sistemas de Información Geográfica

La construcción e implementación de un SIG en cualquier organización es una tarea siempre progresiva, compleja, laboriosa y continua. Los análisis y estudios previos a la implantación de un SIG son similares a los que se deben realizar para establecer cualquier otro sistema de información; sin embargo, en los SIG hay que considerar las características especiales de los datos utilizados y sus correspondientes procesos de actualización.

Es indiscutible que los datos son el principal activo de cualquier sistema de información. Por ello el éxito y la eficacia de un SIG se miden por el tipo, la calidad y vigencia de los datos con los que opera. Contar con bases de datos eficientes y funcionales no significa una gran inversión, ya que es un esfuerzo permanente por ampliar y mejorar los datos almacenados, utilizando las herramientas óptimas para tal propósito.

La información geográfica contiene una referencia territorial explícita como latitud y longitud o una referencia implícita como domicilio o código postal. Las referencias implícitas pueden ser derivadas de referencias explícitas mediante geocodificación.

Los SIG funcionan con dos tipos diferentes de información geográfica: el *modelo vector* y el *modelo raster*.

El *modelo raster* funciona a través de una retícula que permite asociar datos a una imagen; es decir, se pueden relacionar paquetes de información a los píxeles de una imagen digitalizada.

En el *modelo vector*, la información sobre puntos, líneas y polígonos se almacena como una colección de coordenadas x,y. La ubicación de una característica puntual, pueden describirse con un sólo punto x,y. Las características lineales, pueden almacenarse como un conjunto de puntos de coordenadas x,y. Las características poligonales, pueden almacenarse como un circuito cerrado de coordenadas.

Actualmente el condicionante principal de la utilización de un SIG en un proyecto es la disponibilidad de datos geográficos del territorio a estudiar, en cambio hace diez años era la disponibilidad de computadoras potentes que permitieran realizar los procesos de cálculo involucrados en el análisis de datos territoriales.

Sin embargo, además de ser un factor limitante, la información geográfica es a su vez el elemento diferenciador de un Sistema de Información Geográfica frente a otro tipo de Sistemas de Información; así, este tipo de información contiene dos vertientes diferentes: por un lado está la vertiente espacial y por otro la vertiente temática de los datos. Mientras otros Sistemas de

Información contienen sólo datos alfanuméricos, las bases de datos de un SIG integran además la delimitación espacial de cada uno de los objetos geográficos.

En resumen, el SIG tiene que trabajar con cartografía y con bases de datos a la vez, uniendo ambas partes y constituyendo con todo ello una sola base de datos geográfica. De esta manera, se define a la topología como esta capacidad de asociación de bases de datos temáticas junto con la descripción espacial precisa de objetos geográficos y las relaciones entre ellos y es precisamente la topología lo que diferencia a un SIG de otros sistemas informáticos de gestión de información.

2.6 Alcances de los Sistemas de Información Geográfica

Como se mencionó anteriormente, los SIG constituyen una herramienta muy poderosa para la gestión de información y su relación con algo tan tangible como un predio, un río o una obra de desarrollo urbano. Sin embargo, es muy importante conocer los alcances de un sistema como este para aprovechar sus potencialidades al máximo.

Se pueden identificar algunas de las capacidades de los SIG como herramienta en los procesos de gestión. Un SIG permite lo siguiente:

- Realizar un gran número de manipulaciones, sobresaliendo las superposiciones de mapas, transformaciones de escala, la representación grafica y la gestión de bases de datos.
- Consultar rápidamente las bases de datos, tanto espacial como alfanumérica, almacenadas en el sistema.
- Realizar pruebas analíticas rápidas y repetir modelos conceptuales en despliegue espacial.
- Comparar eficazmente los datos espaciales a través del tiempo (análisis temporal).
- Efectuar algunos análisis, de forma rápida que hechos manualmente resultarían largos y molestos.
- Integrar en el futuro, otro tipo de información complementaria que se considere relevante y que esté relacionada con la base de datos nativa u original.

2.7 Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica

En la mayoría de los sectores los SIG pueden ser utilizados como una herramienta de ayuda a la gestión y toma de decisiones, a continuación se describen brevemente algunas de sus aplicaciones principales:

Cartografía automatizada

Las entidades públicas han implementado los SIG en la construcción y mantenimiento de planos digitales de cartografía. Dichos planos son puestos a disposición de las empresas a las que puedan resultar de utilidad estos productos con la condición de que

estas entidades se encargan posteriormente de proveer versiones actualizadas de manera periódica.

Infraestructura

Algunos de los primeros sistemas SIG fueron utilizados por las empresas encargadas del desarrollo, mantenimiento y administración de redes de electricidad, gas, agua, teléfono, alcantarillado, etc.; en este caso, los sistemas SIG almacenan información alfanumérica de servicios relacionados con las distintas representaciones gráficas de los mismos.

La elaboración de mapas, así como la posibilidad de realizar una consulta combinada de información, ya sea gráfica o alfanumérica, son las funciones más comunes para estos sistemas, también son utilizados en trabajos de ingeniería, inventarios, planificación de redes, gestión de mantenimiento, entre otros.

Gestión territorial

Son aplicaciones SIG dirigidas a la gestión de entidades territoriales y permiten un rápido acceso a la información gráfica y alfanumérica con la facilidad de generar documentos a partir de ello, y suministran herramientas para el análisis espacial de la información. Facilitan labores de mantenimiento de infraestructura, mobiliario urbano, etc., y permiten realizar una optimización en los trabajos de mantenimiento de empresas de servicios.

Medio ambiente

Son aplicaciones que facilitan la evaluación del impacto ambiental en la ejecución de proyectos. Integrados con sistemas de adquisición de datos permiten el análisis en tiempo real de la concentración de contaminantes, a fin de tomar las precauciones y medidas del caso.

Equipamiento social

Estas aplicaciones SIG dirigidas a la gestión de servicios de impacto social, tales como servicios sanitarios, centros escolares, hospitales, centros deportivos, culturales, lugares de concentración en casos de emergencias, entre otros y suministran información sobre las redes ya existentes en una determinada zona y ayudan en la planificación en cuanto a la localización de nuevos centros.

Ingeniería de Tránsito

Sistemas de Información Geográfica utilizados para modelar la conducta del tráfico determinando patrones de circulación por una vía en función de las condiciones de tráfico y longitud. Asignando un costo a los o puntos en los que puede existir un semáforo, se puede obtener información muy útil relacionada con análisis de redes.

Capítulo 3

Metodología

3.1 Introducción

El objetivo de un estudio hidrológico, principalmente, es la obtención del gasto de determinada cuenca hidrológica, el cual se utiliza para el diseño de alguna obra que a partir de dicho caudal. No es posible llegar a dicho objetivo sin un conjunto de procedimientos racionales utilizados para ello, es decir una metodología.

En éste capítulo se describe el proceso seguido para la elaboración de éste manual; primero se menciona el desarrollo de un estudio hidrológico desde un enfoque teórico, ya que como se dijo anteriormente, no es posible saber manejar un programa computacional sin conocer los conceptos que en él se utilizan.

En seguida se explica cómo fue evolucionando la redacción del manual, incluyendo los recursos de los que se hizo uso.

3.2 Generalidades de un estudio hidrológico

Un estudio hidrológico se integra esencialmente por los siguientes procedimientos: análisis y proceso de la información geomorfológica, determinación de la tormenta de diseño y la determinación del gasto de diseño. A continuación se hace una breve reseña de estos procedimientos.

Análisis y proceso de la información geomorfológica

La base de esta parte del proceso es la información cartográfica de la topografía del sitio en estudio y se puede obtener del Modelo de Elevación Digital (MDE) y de la Carta Topográfica del mismo, ambos proporcionados por el INEGI. Partiendo de esta información se procede a la delimitación de la cuenca, lo que también integra las características de la cuenca como el parteaguas, la corriente principal y las corrientes secundarias.

A partir de la delimitación de la cuenca es posible conocer sus características geomorfológicas es decir, el área de la cuenca, la pendiente media del cauce principal y la elevación media de la cuenca. Derivado del análisis de dichas características se obtienen parámetros de forma y los

relativos al relieve, que tienen una gran influencia en la respuesta hidrológica de la cuenca, permitiendo desde este punto inferir su probable comportamiento.

El siguiente paso es el análisis de la información climatológica, con ello se habla esencialmente de la precipitación. Pueden presentarse algunas complicaciones en este punto ya que no siempre existen estaciones meteorológicas en el sitio de interés; como resultado de éste análisis se tendrá la precipitación media de la cuenca por medio de los polígonos de Thiessen. La importancia de tener la precipitación media es conformar el hietograma característico de la cuenca.

A continuación se calcula la precipitación interceptada, y el factor que influye mayoritariamente en esto es el suelo. Entonces tanto el tipo de suelo y el uso de éste, serán la base para calcular el número de escurrimiento y a su vez la precipitación interceptada.

Existen dos factores con gran influencia en el cálculo del escurrimiento de una cuenca, que es el objetivo del estudio hidrológico, la temperatura y la evaporación; es evidente que la temperatura encamina a la evaporación, que es significativo conocer debido a que no toda el agua que se precipita en la cuenca se escurre o infiltra, es decir, también se evapora entonces conociendo que pasa con la precipitación de manera más precisa se tendrá un valor más aproximado del escurrimiento superficial.

Determinación de la tormenta de diseño

La tormenta de diseño se considera una variable aleatoria, ya que la precipitación no es de la misma forma a través del tiempo aún cuando se trate del mismo sitio. Por tanto la mejor manera de obtener un dato con mayor exactitud es analizar las tormentas que se hayan producido en la zona, la cantidad y calidad de estos datos depende de los pluviógrafos.

Por otra parte también puede construirse en hietograma de diseño o la tormenta de diseño conociendo el volumen total de precipitación (precipitación diaria) esto asociado a un periodo de retorno. Una vez obtenido este dato se procede a construir el hietograma, el método más recurrente para esto es el método de las curvas intensidad-duración-periodo de retorno conocidas como $i-d-T_R$.

Determinación del gasto de diseño

Para realizar el cálculo del gasto de diseño se necesita el valor del tiempo de concentración para el cual no existe una expresión válida, y de los métodos utilizados para su cálculo se pueden diferenciar los que parten de la morfología de la cuenca como son los propuestos por Kirpich y Rowe, y por otro lado, el método de J.R. Temez por medio del cual se puede distinguir entre cuencas urbanas y no urbanas. En México los que dan buen resultado son los primeros.

En seguida se procede a la determinación del gasto máximo de diseño, para ello se cuenta con las siguientes opciones: método Racional (método empírico), método del Hidrograma Unitario

Triangular, método de I Pai Wu y el método de Chow (métodos hidrológicos). Se recomienda usar varios métodos para comparar los resultados obtenidos en cada uno y seleccionar el valor del gasto máximo de diseño más desfavorable, llegando así al objetivo del estudio hidrológico.

3.3 Proceso de elaboración del manual

La idea de crear un manual de introducción al manejo de Arcview surge a partir de la necesidad de contar con un apoyo en el proceso de elaboración de un estudio hidrológico utilizando dicho programa, ya que resulta de manera más eficaz que hacerlo de manera “manual”.

Basados en ese principio se comenzó a diseñar este manual de apoyo para estudiantes de Ingeniería Civil debido a que realizar un estudio hidrológico generalmente es parte del programa de estudios de la carrera. El desarrollo de este manual es totalmente empírico así que resulta de manera productiva tanto para quienes fue enfocado como para quien lo realiza.

Como se ha mencionado anteriormente no es posible hacer uso de un programa computacional sin conocer los principios teóricos en los que se fundamenta, por tanto en inicio se plantearon las siguientes partes de un estudio hidrológico: las bases, los objetivos y los medios para llegar a ellos, es decir se esbozó el procedimiento a seguir de un estudio.

Al conocer lo anterior se buscaron las formas de obtener los datos pertinentes por medio del programa, es decir las extensiones necesarias y los modelos que representen las características geomorfológicas del sitio en estudio. Esto es básicamente la manera en que se fue desarrollando el manual, siguiendo el mismo proceso que en un estudio hidrológico realizado en el camino convencional y a la par en el programa de Arcview.

Durante el progreso del manual se requirió de apoyo de profesores conocedores de la materia de Hidrología para estar seguros de que el proceso planteado teóricamente estaba correcto y por tanto el procedimiento en el programa descrito también. Así mismo se recurrió a fuentes bibliográficas que auxilian en la realización de un estudio hidrológico explicando los conceptos teóricos manejados por el programa.

Toda esta evolución no se fue dando sólo en la elaboración del manual, porque como se dijo antes, el proceso fue empírico, esto debido a que quien redactó principalmente el manual desconocía el funcionamiento del programa entonces también significó un aprendizaje propio. De ahí resulta el formato que se le dio a la descripción del proceso, buscando así ser claro, detallado y sobre todo útil.

Capítulo 4

R

esultados

4.1 Introducción

En capítulos previos de este trabajo se han mencionado las bases teóricas y a su vez las funciones del mismo, es decir se ha venido describiendo de manera hipotética cómo está compuesto el manual y ahora con todos esos fundamentos se expone el producto final.

Se podrá identificar que se explican los procesos a seguir en las herramientas con las cuales se realiza un estudio hidrológico y de alguna forma se compara el hacerlo con Autocad y ERIC y el hacerlo solamente con Arcview. Comúnmente se utiliza la primera opción por tanto el compararlo con Arcview da al lector una visión diferente y más completa de las opciones que se tienen para elaborar el estudio hidrológico.

Es posible apreciar que el manual se encuentra de manera “independiente” al resto del trabajo, es decir que es factible extraerlo del trabajo para su uso.

Después del manual se reporta que tan claro resultó ser éste para una persona que tiene los conocimientos requeridos para entender tanto el funcionamiento del programa Arcview como los resultados obtenidos de él, se mencionan algunos otros aspectos que fueron evaluados sobre el manual.

4.2 Manual de introducción al manejo de Arcview aplicado a Hidrología

Manual de introducción al manejo de Arcview aplicado a Hidrología



Autor

P.I.C. Eva María González Zetina

Coautores

Ing. Jorge Leonel Ángel Hurtado

M.I. Juan Pablo Molina Aguilar

M.C. Guillermo Benjamín Pérez Morales

Ing. Héctor Rivas Hernández

Ing. Miriam Guadalupe López Chávez

Ing. Rafael Calderón Hernández

MANUAL DE INTRODUCCIÓN AL MANEJO DE ARCVIEW APLICADO A HIDROLOGÍA

	<i>Página</i>
1. Introducción.....	2
2. Planteamiento del problema.....	3
3. Conceptos hidrológicos.....	4
4. Manejo de herramientas.....	6
4.1 Autocad.....	6
4.1.1 Preparación de la carta en Autocad.....	7
4.1.2 Determinación y trazo del parteaguas.....	9
4.1.3 Características morfológicas.....	10
4.1.3.1 Área.....	11
4.1.3.2 Perímetro.....	11
4.1.3.3 Longitud Axial.....	11
4.2 Estaciones meteorológicas	12
4.2.1 Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC).....	12
4.2.2 ERIC 3.....	14
4.3 Arcview.....	16
4.3.1 Generalidades.....	16
4.3.1.1 Instalación del programa.....	16
4.3.1.2 Cargando extensiones adicionales.....	17
4.3.1.3 Iniciando el programa.....	18
4.3.1.4 Descarga de Modelos de Elevación Digital.....	21
4.3.1.5 Cargando información de INEGI.....	24
4.3.2 Descripción de herramientas.....	28
4.3.2.1 Create contour.....	28
4.3.2.2 Profile Extractor.....	30
4.3.2.3 Exportando información.....	34
4.3.3 Estudio hidrológico. Obtención de características geomorfológicas.....	36
4.4 Análisis de la información hidrológica.....	140
4.4.1 Características geomorfológicas de la cuenca.....	140

4.4.2	Precipitación.....	141
4.4.2.1	Información meteorológica.....	141
4.4.2.2	Selección y análisis de los datos de precipitación.....	142
4.4.2.3	Análisis de la distribución espacial de la precipitación (Precipitación media).....	144
4.4.3	Precipitación interceptada (Po).....	144
4.4.3.1	Información y uso de tipo de suelo.....	145
4.4.3.2	Cuantificación del uso de suelo.....	145
4.4.3.3	Cuantificación del tipo de suelo.....	145
4.4.3.4	Cuantificación de la pendiente del suelo.....	146
4.4.3.5	Determinación del número de escurrimiento (N) y precipitación Interceptada (Po).....	147
4.4.4	Precipitación en exceso y escurrimiento superficial.....	147
4.4.5	Determinación de la tormenta de diseño.....	148
4.4.5.1	Generalidades.....	148
4.4.5.2	Precipitación diaria (Pd) asociada a un periodo de retorno (Tr).....	148
4.4.5.3	Análisis de frecuencias de lluvia.....	149
4.4.6	Determinación del Gasto de diseño.....	150
4.4.6.1	Tiempo de concentración.....	150
4.4.6.2	Método Racional.....	151
4.4.6.3	Método del hidrograma triangular unitario.....	152
4.4.6.4	Método Envoltentes de Creager.....	152
4.4.6.5	Método Envoltentes de Lowry.....	153
4.4.6.6	Método de Chow.....	153
4.4.6.7	Gasto de diseño.....	154

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los procesos de Enseñanza – Aprendizaje no se pueden percibir sin el apoyo de los elementos tecnológicos que permiten una mayor eficiencia y eficacia en la revisión y los diseños dentro del campo de la Ingeniería Civil de manera particular en el Área Hidráulica.

Lograr la significatividad de lo estudiado en las aulas de clases resulta en ocasiones complicado por el origen y aplicación de conceptos en las áreas del campo hidráulico, siendo los laboratorios un espacio propicio donde los alumnos crean conocimiento y generación los significados en la labor de todo ingeniero civil.

Por ello surge la inquietud de generar manuales que permitan al alumno que comienza en las distintas materias del Departamento de Hidráulica impartidas en plan de estudios vigente conocer, entender, calcular parámetros y características manualmente así como con el apoyo de tecnologías, concretar proyectos de índole académica y posteriormente proyectos laborales.

Así es como el personal del laboratorio de Hidráulica se avoca en esta tarea esperando ser un apoyo tanto a estudiantes como docentes en los temas tratados en este manual. Al ser una primer experiencia en este sentido sabemos que se requerirán de modificaciones al documento presentado, por ello agradecemos de manera atenta nos comuniquen sus comentarios, dudas o correcciones en la dirección mostrada a continuación.

Atentamente.
Los autores.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad ante los constantes cambios climatológicos que repercuten en el comportamiento de los recursos hídricos y su interacción con las cuencas hidrológicas, hacen necesario contar con datos e información más precisos e inmediatos que permitan un diagnóstico más eficaz y eficiente del comportamiento del flujo a través de cauces naturales que interactúan con las distintas obras civiles, puentes, alcantarillas, presas de almacenamiento, presas derivadoras, por citar algunas.

Buscando resolver o anticipar problemáticas relativas a lo antes expuesto surge la necesidad de que los profesionales de estas áreas tengan herramientas actuales que garanticen tomas de decisiones adecuadas ante los diferentes escenarios posibles con el objetivo de salvaguardar la integridad de la población y la estabilidad de la infraestructura existente colaborando en la prevención de desastres.

Por lo anterior el manejo de conceptos aunado con el dominio de las herramientas tecnológicas permiten gestar soluciones acordes con el contexto social, político, cultural y económico de la región de análisis, ante este panorama surge la necesidad de generar manuales o textos de apoyo técnico que logren concretar los aspectos previamente citados, por ello se ha incursionado en la elaboración del presente trabajo.

3. CONCEPTOS HIDROLÓGICOS

Es de vital importancia tener conocimientos sobre Hidrología para poder hacer uso de Arcview en la realización de un estudio hidrológico, debido a que el programa maneja diversos conceptos en sus funciones y por tanto, si no se conocen dichos conceptos no será posible comprender lo que el programa está haciendo y además podrían cometerse errores al entrar datos al programa. Por ello vale la pena mencionar algunas definiciones de Hidrología.

Cuenca hidrológica (Aparicio Mijares, 2010)

Es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. La cual presenta las siguientes características:

Parteaguas

Línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas.

Área de la cuenca

Se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas.

Corriente principal

Es la corriente que pasa por la salida de la cuenca.

Pendiente del cauce principal de una cuenca.

Es uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta. Dado que varía a lo largo del cauce, es necesario definir una **pendiente media**; para ello existen varios métodos:

- a) La pendiente media aritmética es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividido entre su longitud medida en planta.
- b) La pendiente media ponderada es la de una línea recta que, apoyándose en el extremos de aguas debajo de la corriente, hace que se tengan áreas iguales entre el perfil del cauce y arriba y debajo de dicha línea.
- c) **Taylor y Schwarz** proponen calcular la pendiente media como la de un canal de sección transversal uniforme que tenga la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente en cuestión, es decir hacer uso de un promedio geométrico o ponderado respecto a los cambios de pendiente a lo largo de toda la longitud.

Escurrecimiento (Aparicio Mijares, 2010)

El escurrecimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.

Periodo de retorno (T_R) (Aparicio Mijares, 2010)

Es el tiempo esperado o tiempo medio, generalmente expresado en años, entre dos sucesos improbables y con posibles efectos catastróficos. Conocido también como intervalo de recurrencia o frecuencia. Así, en ingeniería hidráulica es el tiempo medio entre dos trombas de agua por encima de un cierto caudal.

Curvas intensidad-duración-periodo de retorno ($i-d-T_R$) (Aparicio Mijares, 2010)

La relación probabilística entre la intensidad de la lluvia, su duración y frecuencia, es usualmente presentada en forma de gráficas. Estas representaciones son generalmente referidas como curvas de intensidad-duración-periodo de retorno, que resultan de unir los puntos que especifican la intensidad de la lluvia, en intervalos de diferente duración y, también en distintos periodos de retorno.

Gasto (Aparicio Mijares, 2010)

Un gasto se define como el volumen de escurrecimiento por unidad de tiempo. En el caso del área hidrológica éste concepto es el escurrecimiento superficial que depende de la interacción de las características geomorfológicas de la cuenca con las condiciones climáticas.

Hidrograma (Aparicio Mijares, 2010)

Es una representación gráfica de gastos medidos de una sección determinada, generalmente en un año, contra el tiempo en que fueron medidos. El área bajo la curva del hidrograma es el volumen total escurrido.

4. MANEJO DE HERRAMIENTAS

4.1 AUTOCAD

El primer paso en la realización de un estudio hidrológico, es definir la zona en estudio. En este manual trabajaremos con una cuenca hidrológica localizada en **San José de Chila**, en el Estado de Michoacán.

Es necesario contar con la Carta Topográfica, de manera digital, donde esté ubicada la cuenca. Esto con el objetivo de poder ser manejada en Autocad. De igual manera se puede escanear directamente de la carta impresa de INEGI la zona de estudio para insertarla al espacio de trabajo de Autocad y sobre la imagen trabajar, aunque de esta forma representa más trabajo al tener que realizar polilíneas de apoyo en cada una de las curvas de nivel para la determinación de parámetros y características asociadas con la cuenca.

INEGI maneja cartas topográficas digitales escala 1:50 000 (actualmente está en proyecto realizar cartas topográficas 1:20 000). Cuanto menor sea la escala que se maneje, más precisos serán los resultados. A continuación se presenta la información de la carta topográfica que se utilizó para la realización de este ejemplo:

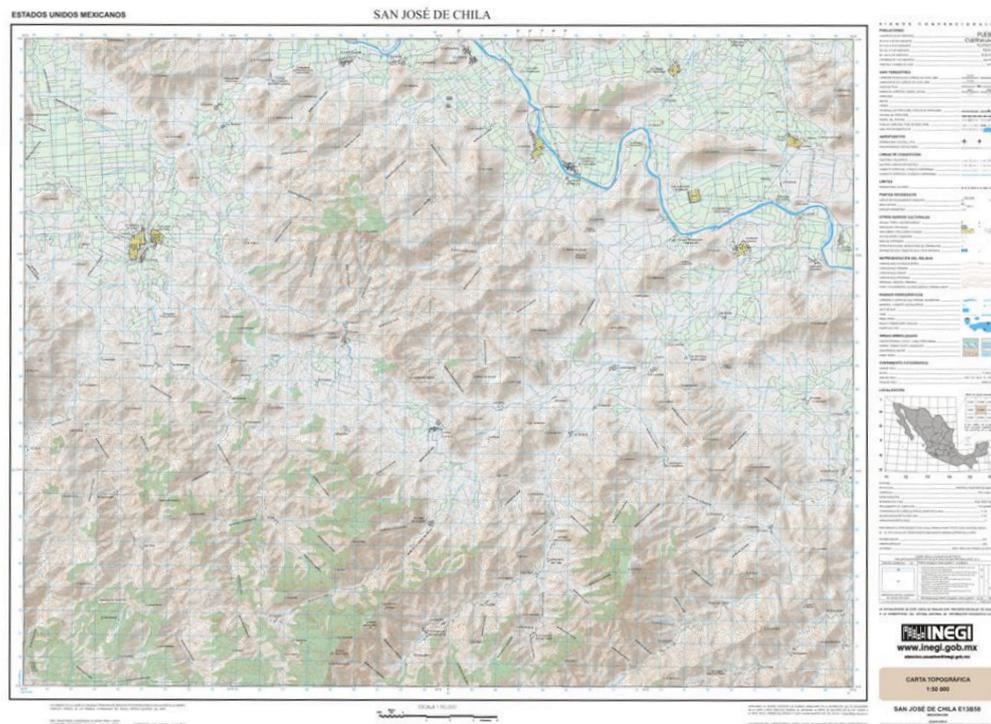


IMAGEN DIGITAL CARTA TOPOGRÁFICA ESCALA 1:50 000.

E13B58 SAN JOSÉ DE CHILA

PROYECCIÓN, DATUM.

Cuadrícula UTM a cada 1000 m

Elipsoide: GRS80

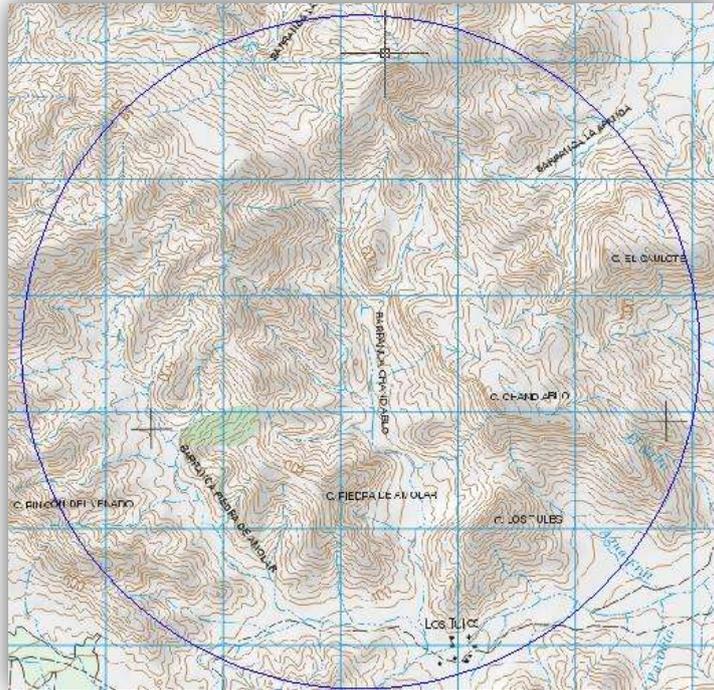
Coordenadas de la esquina superior izquierda de la imagen (noroeste):

x: 743686.013789054

y: 2106143.3076936

Proyección Universal Transversa de Mercator

Datum: ITRF92

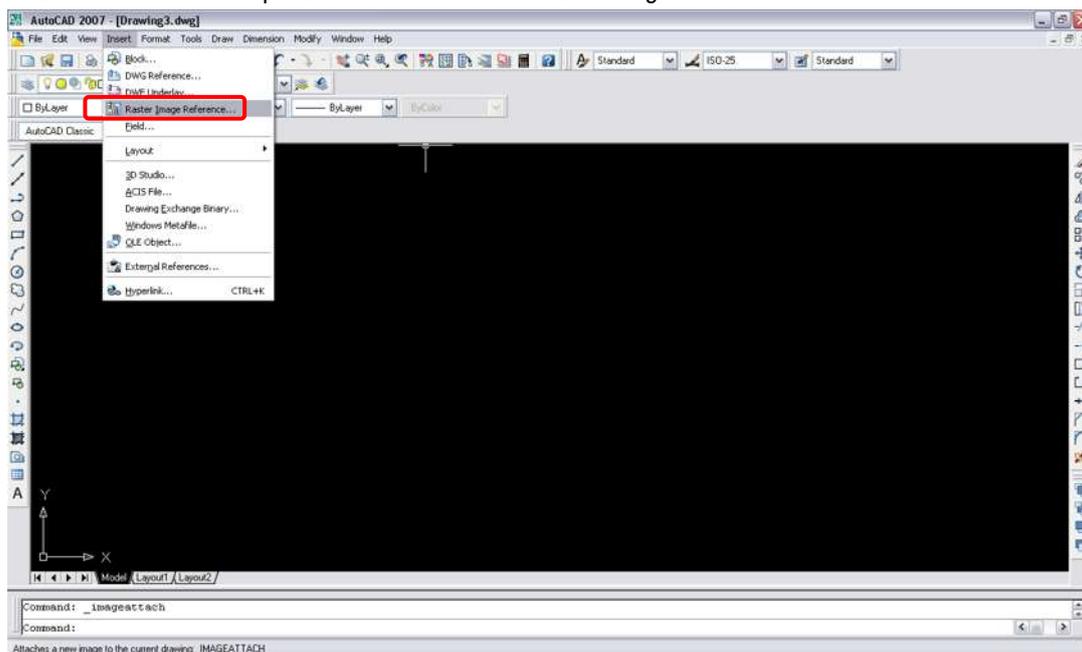


En la imagen se muestra la ubicación de la cuenca (aproximada), para después poder definir el parteaguas. En la siguiente página apreciaremos la imagen de la Carta Topográfica mencionada.

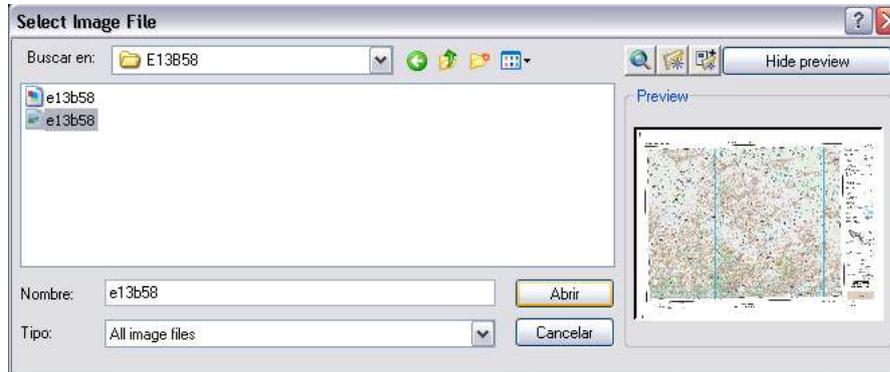
4.1.1 Preparación de la carta en Autocad

El primer paso a seguir es insertar la carta topográfica en AUTOCAD, con las siguientes indicaciones:

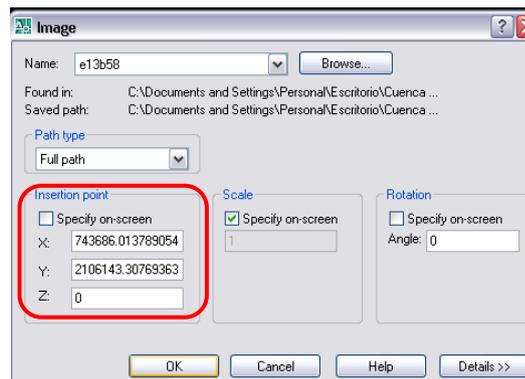
1. En el Menú Principal seleccionar *Insert* → *Raster Image Reference...*



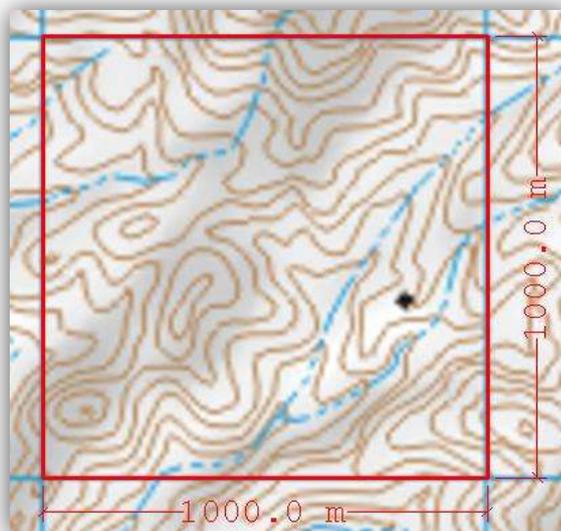
2. Aparecerá una ventana de dialogo como la siguiente y en ella seleccionamos la imagen a insertar, de acuerdo a la ubicación en que se encuentra guardada dentro de la computadora.



3. En la siguiente ventana que aparecerá, se ingresarán las coordenadas que son proporcionadas en el archivo *.txt que viene anexo en el disco de la carta topográfica. Estas coordenadas son las que vienen especificadas como *Coordenadas de la esquina superior de la imagen*. Dichas coordenadas se ingresan en *Insertion Point*.



4. Una vez insertada la imagen, es necesario escalarla (Comando Scale). Si se trabajaran en metros, cada uno de los cuadros deberá quedar de 1000x1000 unidades.

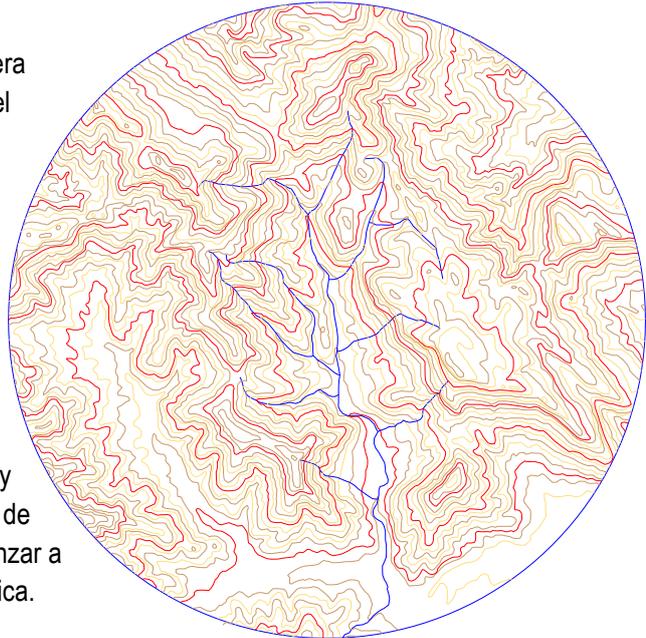


5. Finalmente, se debe asegurar que está trabajando en coordenadas UTM. Una manera de verificarlo es revisando la esquina inferior izquierda del mapa. En este caso, es necesario mover la carta para ajustarla a dichas coordenadas. El comando a utilizar es *Move*, se selecciona la esquina superior izquierda y se suman 31 m al Este y se restan 198 m al Norte.

PARA TRANSFORMAR COORDENADAS DE DATUM ITRF92 A NAD27:
COORDENADAS GEOGRÁFICAS: RESTAR 2.41" EN LATITUD
RESTAR 0.89" EN LONGITUD

COORDENADAS U.T.M.: SUMAR 31 M. EN E
RESTAR 198 M. EN N

Si no se cuenta con la carta topográfica de manera vectorial, será necesario trazar las curvas de nivel que se encuentren dentro de la cuenca topográfica. Se utiliza el comando *Polyline* y se van "calcando" cada una de las curvas, así como las corrientes de agua presentes. Se recomienda no suavizar las polilíneas creadas (*Spline*), ya que es más tardado manejarlas de esta manera.



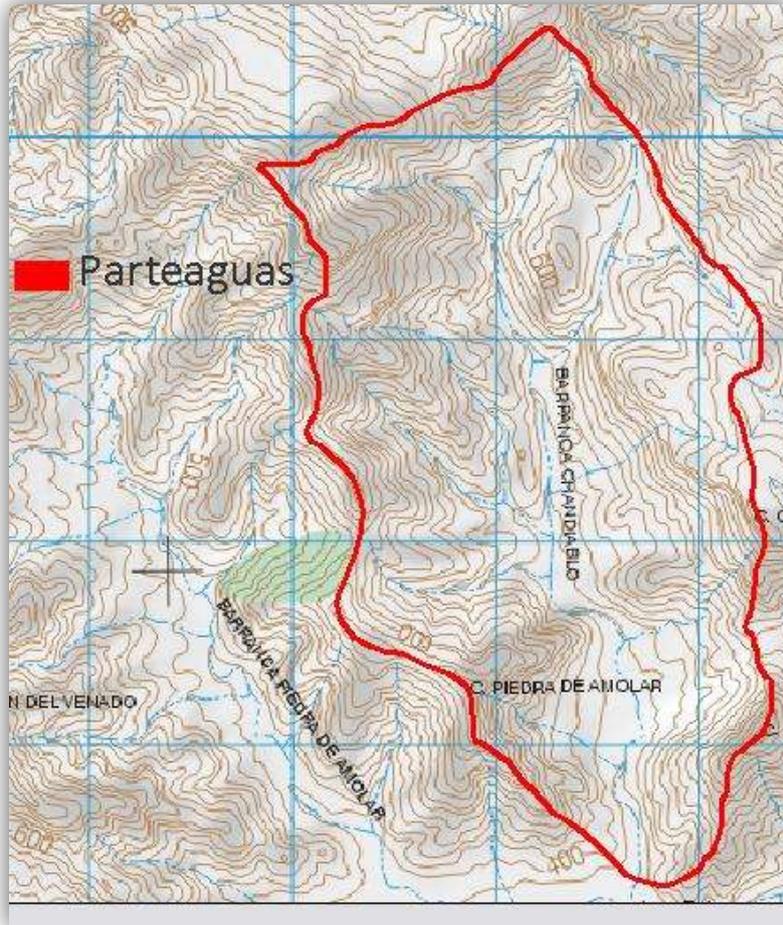
Una vez que la carta topográfica fue insertada y georreferenciada, así como trazadas las curvas de nivel y las corrientes de agua, se pueden comenzar a obtener las características de la cuenca hidrológica.

4.1.2 Determinación y trazo del parteaguas

El parteaguas es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas. Para trazar el parteaguas, se necesita saber qué nos representan las curvas topográficas (lengüetas, pequeñas montañas, depresiones, etc.) además de ir recorriendo las corrientes propias de la cuenca y de las cuencas vecinas; suponer a donde se dirigirá una gota de lluvia que caiga en la zona.

A continuación, hago referencia de 4 reglas básicas para el trazado del parteaguas:

1. El parteaguas corta ortogonalmente a las curvas de nivel y pasa por los puntos de mayor nivel topográfico.
2. Cuando el parteaguas va aumentando su altitud, corta a las curvas de nivel por la parte convexa.
3. Cuando la altitud del parteaguas va decreciendo, corta a las curvas de nivel por su parte cóncava.
4. Como comprobación, el parteaguas nunca corta una corriente, excepto en el punto de interés de la cuenca (salida).



4.1.3 Características morfológicas de la cuenca

La geomorfología estudia y pretende cuantificar determinados rasgos propios de la superficie terrestre. La cuenca hidrográfica funciona como un gran colector que recibe precipitaciones y las transforma en escurrimientos. Esta transferencia se realiza con pérdidas y es una función bastante compleja de numerosos factores, entre los que predomina el clima y la configuración del terreno, en el cuál se desarrollan los fenómenos hidrológicos; los índices y magnitudes físicas de la cuenca que expresan en términos simples los valores medios de ciertas características del terreno, juegan un papel muy importante y son condicionantes de su régimen hidrológico.

En realidad, resulta fácil establecer la acción de diferentes factores físicos de la cuenca sobre la transformación de la precipitación de en escurrimientos, pues ello se puede establecer en forma intuitiva, la dificultad estriba en expresar estas influencias por parámetros que representen exactamente esa forma de acción. A la fecha, se ha comprobado la influencia que determinados índices tienen en la respuestas hidrológicas de una cuenca y por ello son punto de partida de los análisis y determinaciones cuantitativas; entre tales parámetros cabe citar el área o tamaño de la cuenca, su forma, pendiente, elevación media, las características de su red de drenaje y las del cauce principal o colector principal.

4.1.3.1 Área

El área de la cuenca se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas.

Usualmente el área es determinada con un planímetro, sin embargo vamos a hacer uso de la herramienta informática AUTOCAD, la cual nos proporciona el área automáticamente.

Obtener el área mediante Autocad se puede obtener de varias maneras.

1. Comando *Área* y se selecciona el objeto, en este caso la polilínea cerrada que representa el parteaguas.
2. Con el comando *Properties* y seleccionando el objeto.

Área = 6644850.0835 m²
Área = 6.6448 km²

4.1.3.2 PERÍMETRO

El perímetro de la cuenca es simplemente la longitud del parteaguas, como si se extendiera horizontalmente. Este dato también nos lo proporciona AUTOCAD (Al momento de utilizar el comando *Area* o al mostrarse las propiedades del objeto).

Perímetro = 11464.6091 m
Perímetro = 11.4646 km

4.1.3.3 LONGITUD AXIAL

La longitud axial se define como la más grande dimensión de la cuenca, a lo largo de una línea recta desde la salida hasta tocar el parteaguas, paralela al cauce principal.

Lc = 11188.3795 m
Lc = 11.1884 km

4.2 ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Para localizar las estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca en estudio se pueden hacer uso de las siguientes bases de datos, y con la metodología explicada a continuación:

4.2.1 Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC)

ERIC es una base de datos hidrometeorológicos de estaciones que se encuentran a lo largo y ancho de la República Mexicana.

Para conocer las estaciones meteorológicas que circundan a la cuenca, es posible analizar un Área Rectangular:



Los datos que son necesarios ingresar corresponden a la esquina superior izquierda e inferior derecha del área rectangular. En este caso ingresaremos las esquinas de la Carta Topográfica E13B58.

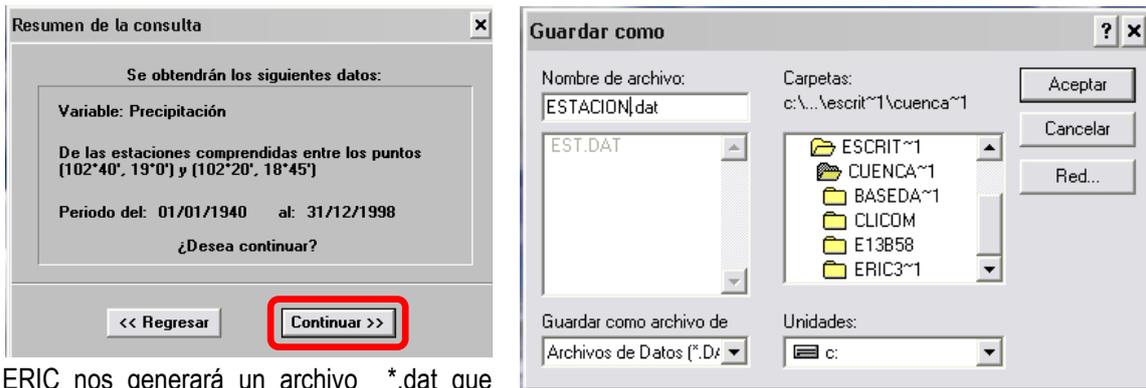
Vértice Superior Izquierdo:

- Latitud: 19° 00'
- Longitud: 102° 40'

Vértice Inferior Derecho:

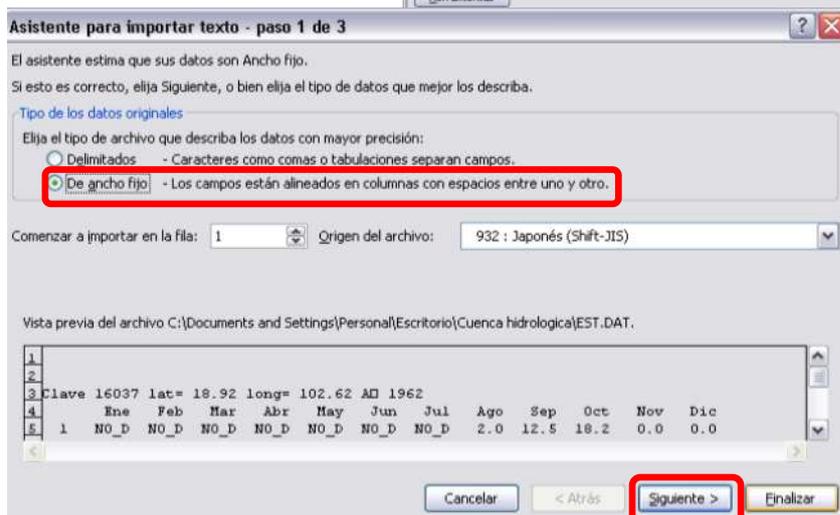
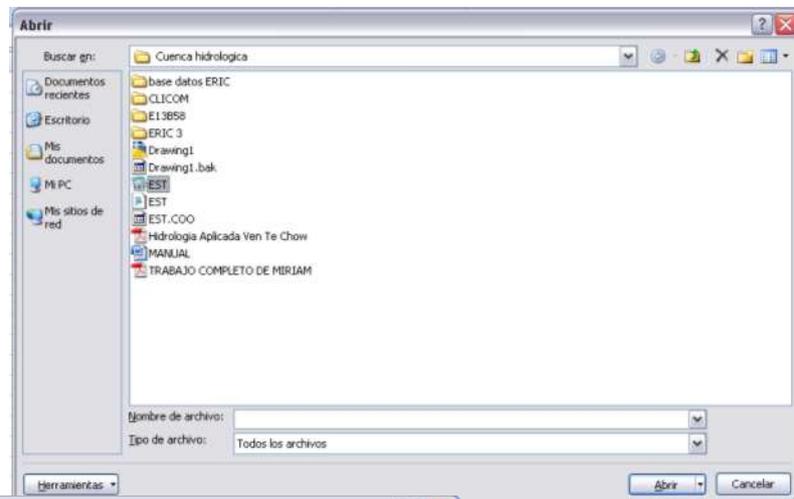
- Latitud: 18° 45'
- Longitud: 102° 20'

Variable climatológica:			
Precipitación			
Area rectangular			
	Longitud	Latitud	
Vértice superior izquierdo:	102° 40'	19° 00'	
Vértice inferior derecho:	102° 20'	18° 45'	
Intervalo de tiempo			
	Día	Mes	Año
Fecha inicial	01	01	1940
Fecha final	31	12	1998



ERIC nos generará un archivo *.dat que podemos guardar en alguna carpeta de nuestra elección. Cabe señalar que el nombre del archivo no debe exceder de 8 caracteres (sin incluir la extensión). Dicho archivo puede ser abierto desde bloc de notas, wordpad, etc. En este caso es útil abrir el archivo en Excel bajo el siguiente procedimiento.

- 1) Ejecutamos el programa Excel y seleccionamos abrir.
- 2) Seleccionamos la opción de "Todos los archivos" en Tipo de Archivo y abrimos el archivo *.dat.



- 3) Nos aparecerá una ventana como la de la izquierda, seleccionamos De ancho fijo y damos clic en Finalizar.

Del archivo vamos a obtener la clave de las estaciones que se encuentran comprendidas dentro de la carta topográfica. Es necesario abrir el archivo ESTACION.txt que se encuentra en la carpeta de base de datos ERIC.

En el archivo .txt podemos encontrar más información acerca de las estaciones que ubicamos en un principio. Depuramos esta información, y para el caso de la cuenca en estudio obtuvimos lo siguiente:

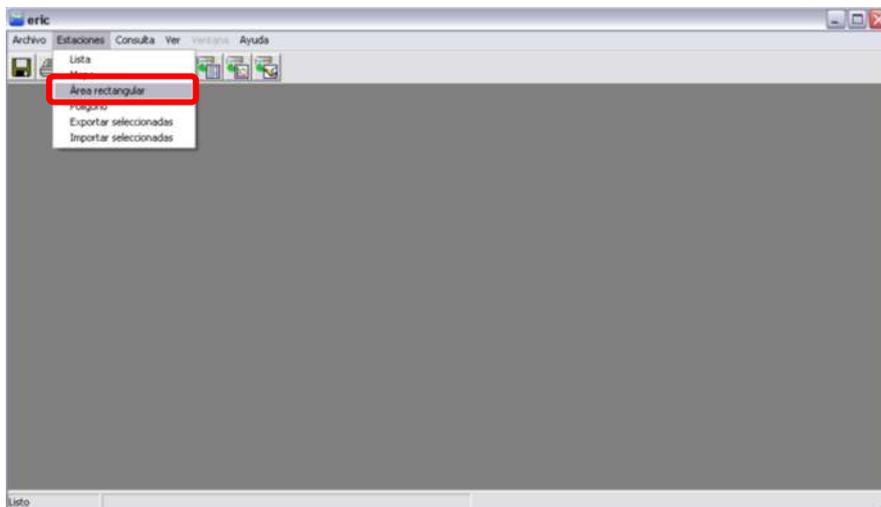
MICHOACAN		Latitud		Longitud		Elevación
-CLAVE	NOMBRE	grados	min	grados	min	metros
16037	EL CAJON, TEPACALTEPEC	18	55	102	37	290
16157	CHILA, AGUILILLA	18	56	102	37	300
16158	EL CAJON, TEPALCATEPEC	18	55	102	37	296

Teniendo las coordenadas de cada una de las estaciones, procedemos a dibujarlas en Autocad para conocer su distancia al centro de gravedad de la cuenca.

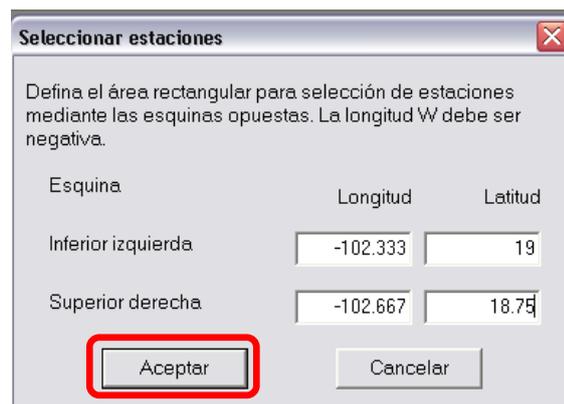
4.2.2 ERIC 3

Si cuentas con el ERIC 3, este es el procedimiento que puedes seguir para localizar las estaciones cercanas a la cuenca:

- 1) En el menú se selecciona Estaciones y se realiza una consulta de Área Rectangular.



- 2) A diferencia del ERIC, el ERIC 3 te pide que le proporciones los datos de la Esquina Inferior Derecha y Superior Izquierda. Debes recordar que en esta versión del ERIC las coordenadas las deberás ingresar en grados decimales, y el valor de la longitud deberá ser con números negativos.



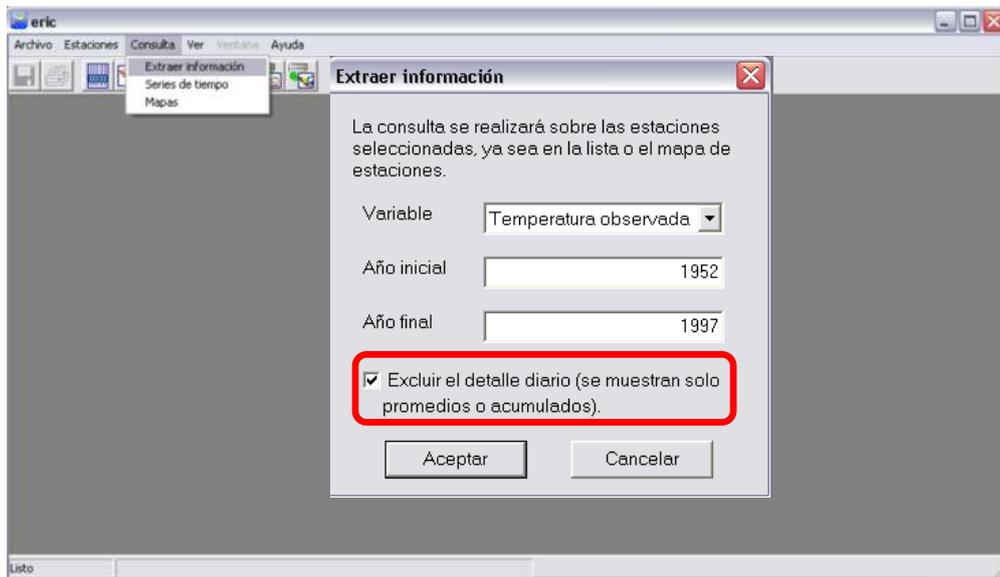
Esquina Inferior Izquierda:

- Latitud: 19° 00' = 19.0000°
- Longitud: 102° 20' = -102.3333°

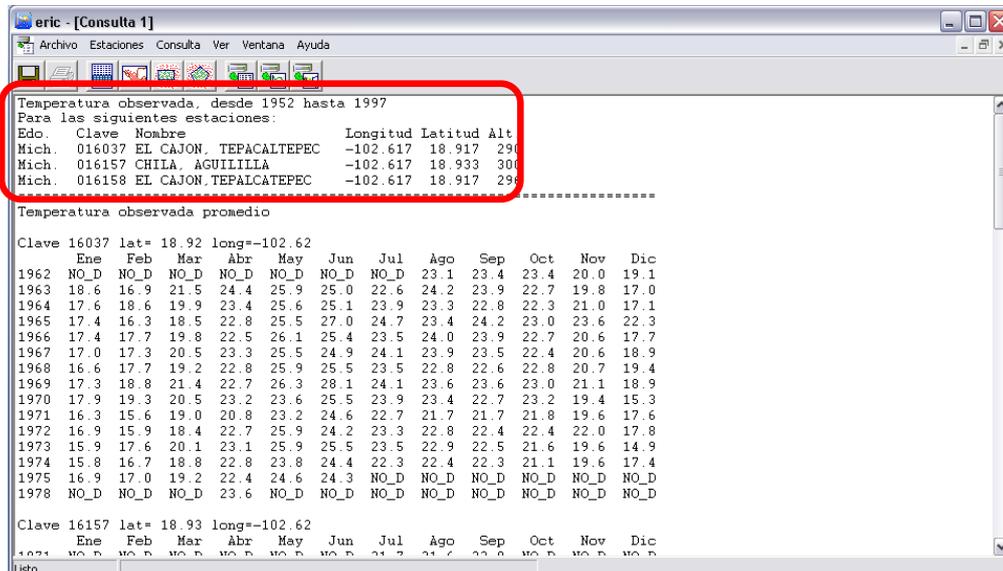
Esquina Superior Derecha:

- Latitud: 18° 45' = 18.7500°
- Longitud: 102° 40' = -102.6667°

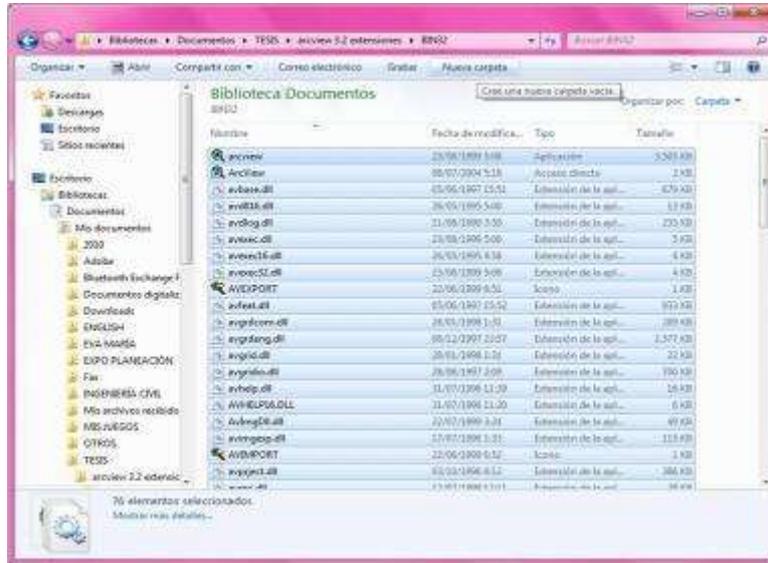
- 3) En el Menú nos dirigimos a Consulta y seleccionamos Extraer Información. Como solo queremos conocer las estaciones circundantes, es irrelevante la variable y los años. Seleccionamos Excluir el detalle diario para que el archivo sea más compacto.



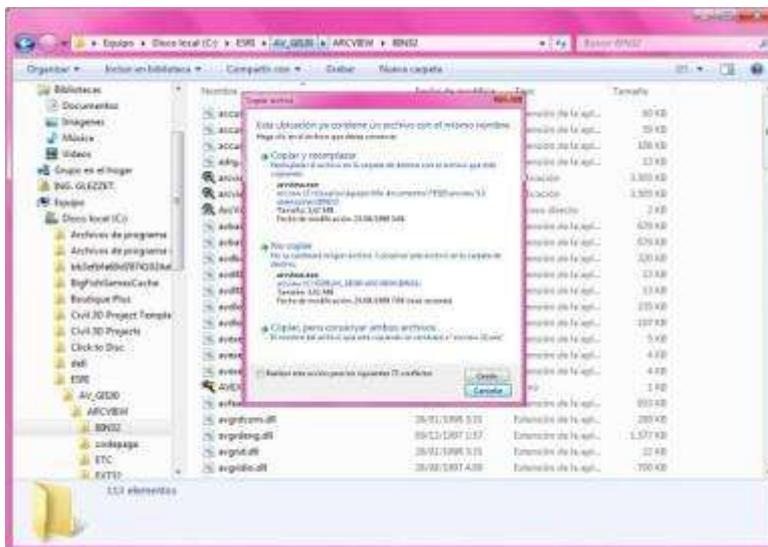
- 4) La ventaja de esta versión de ERIC es que te muestra directamente la información que deseamos conocer. Así tenemos que los datos de las estaciones circundantes:



En la carpeta ESRI del disco de instalación se tiene un mayor número de controladores y extensiones para el programa por ello copiar los contenidos de cada carpeta para tener una versión más actualizada de Arcview



Copiar ESRI→ARCVIEW→BIN32 en el disco de instalación a la misma dirección en el disco duro de la maquina, así de manera sucesiva con el resto de las carpetas.



4.3.1.2 Cargando extensiones adicionales

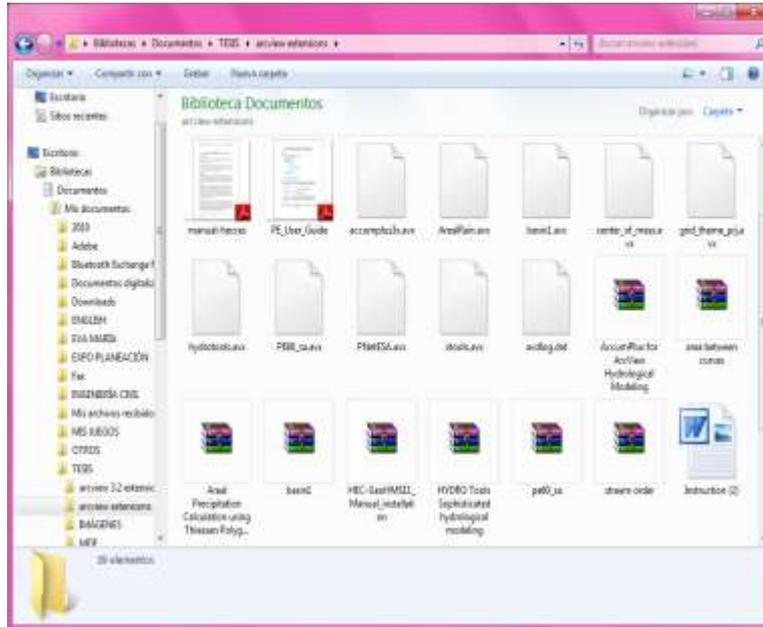
En el disco de instalación se encuentra el archivo comprimido **Arcview extensiones hidrología**, dentro se hallan ubicadas 8 extensiones (herramientas específicas en la plataforma de ArcView) para realizar cálculos hidrológicos, cada una de ellas se encuentra dentro de otro archivo comprimido.

Y puede tener uno o varios archivos.

- Los de extensión **AVX** son programas de cálculo y se ubican en la carpeta **EXT32** del disco duro.

- Los de extensión **DLL** son librerías que generan los menús en la barra del programa y se colocan en la carpeta **BIN32** del disco duro.
- Los de extensión **DAT** se colocan en la carpeta **LIB32** del disco duro.

La ubicación de los archivos se realiza de la misma manera para todas las extensiones que uno vaya incorporando al programa

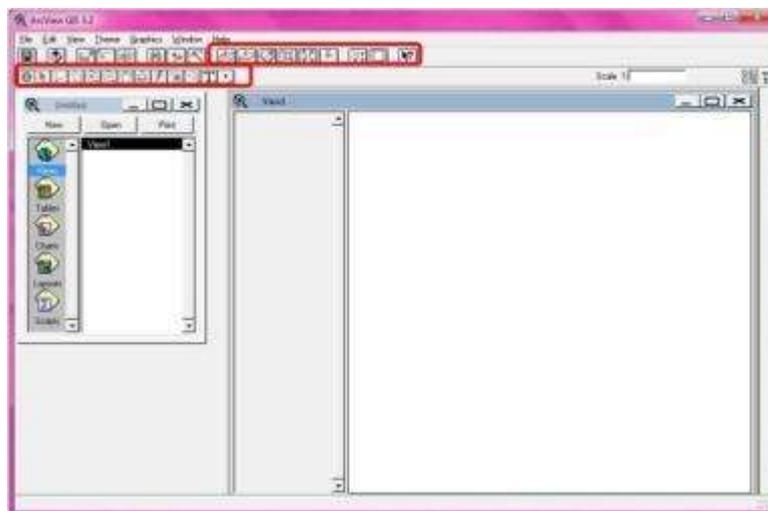
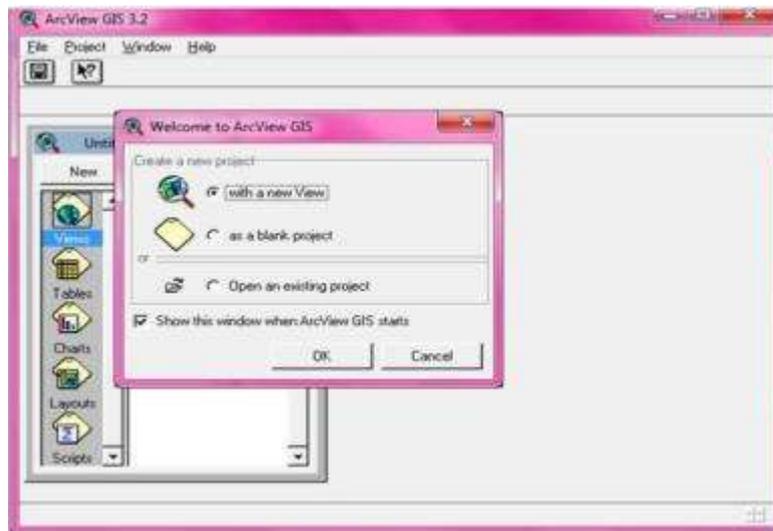


4.3.1.3 Iniciando el programa

Al iniciar un nuevo proyecto se recomienda empezar con la opción **“with a new view”**, apareciendo del lado izquierdo una ventana de dialogo con cinco elementos.

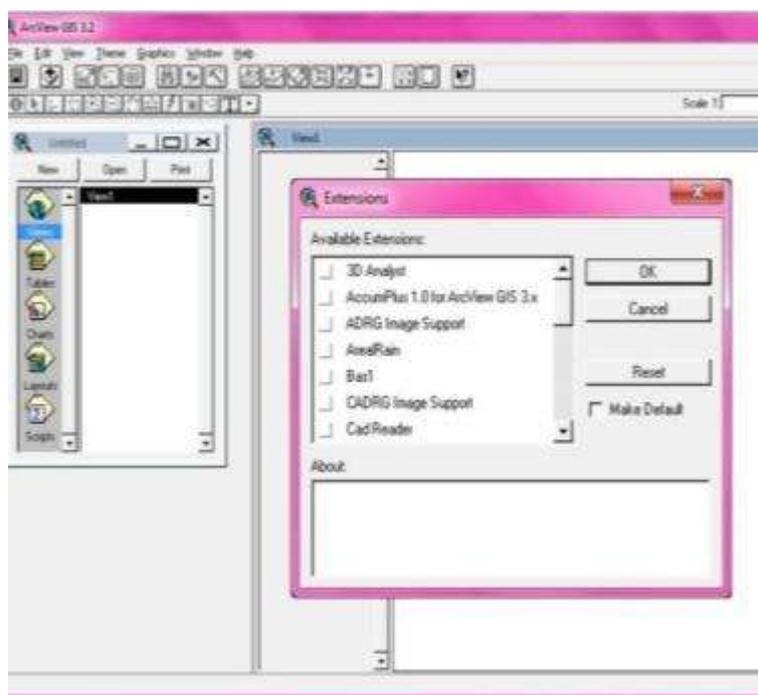
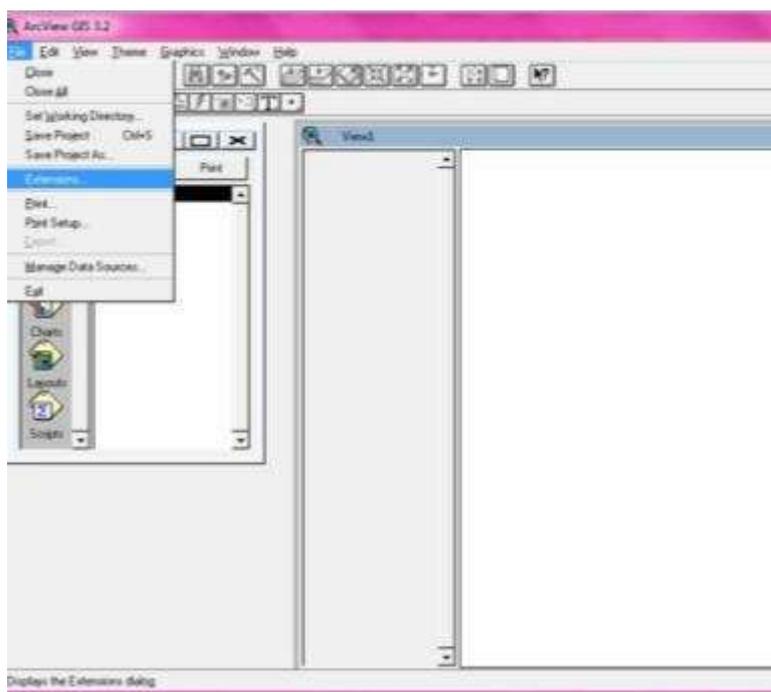
- View. Muestra la información de manera visual.
- Tables. Permite cargar y administrar información a manera de tablas de características.
- Charts. Permite cargar y administrar bases de datos en el proyecto.
- Layouts. Permite generar capas de temas, similar a como se trabaja en Autocad.
- Scripts. Programas en Visual Basic que permiten realizar cálculos específicos.

Seleccionando el icono View, se da clic en New y aparece de lado derecho la pantalla de trabajo. Automáticamente aparecen en la parte superior una serie de iconos (extensiones) que son las básicas con las que se trabaja en el programa.

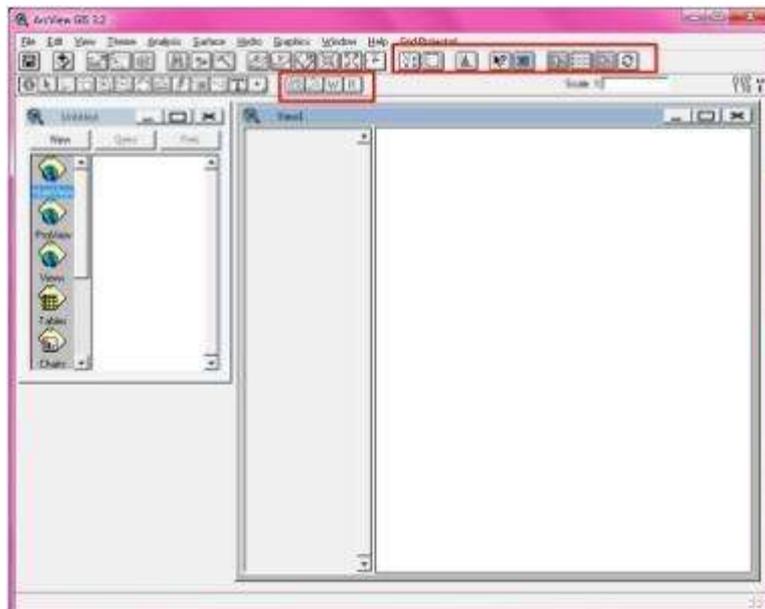


Si no están visibles las extensiones necesarias se va al menú **File** y se selecciona **Extensions**, apareciendo una ventana para dar de alta las extensiones. Dependiendo del trabajo a realizar se activan las extensiones sin embargo comúnmente se deberá activar:

- 3D Analysis.
- CAD reader (funciona para versiones de Autocad menores a 2004).
- Database Access
- Geoprocessing
- Spatial Analyst
- Extensión particular de trabajo



Una vez activadas y cargadas las extensiones aparecerán en la parte superior nuevos iconos de trabajo, dependiendo de las extensiones dadas de alta puede ocurrir que no sean "compatibles" algunas de ellas y puede ser que el programa se cierre, es recomendable activar y desactivar las extensiones según se vayan ocupando.



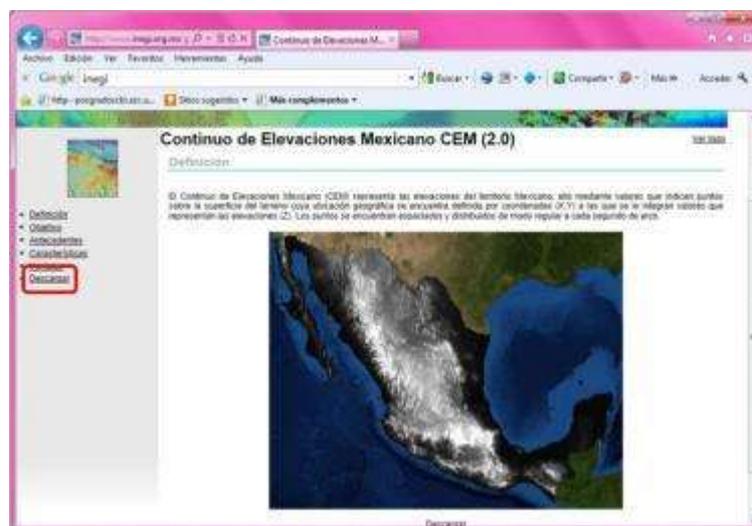
4.3.1.4 Descargando mapas digitales

En la página de del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (www.inegi.org.mx) se selecciona la pestaña “Geografía” y en seguida la opción “Datos de relieve”. A continuación aparecerán dos opciones “Continental” y “Submarino”, se elige la primera.





Se da clic en “Continuo de elevaciones mexicano CEM (2.0) – descarga”, aparecerán en el lado izquierdo varias opciones, se selecciona la última “Descargar”.



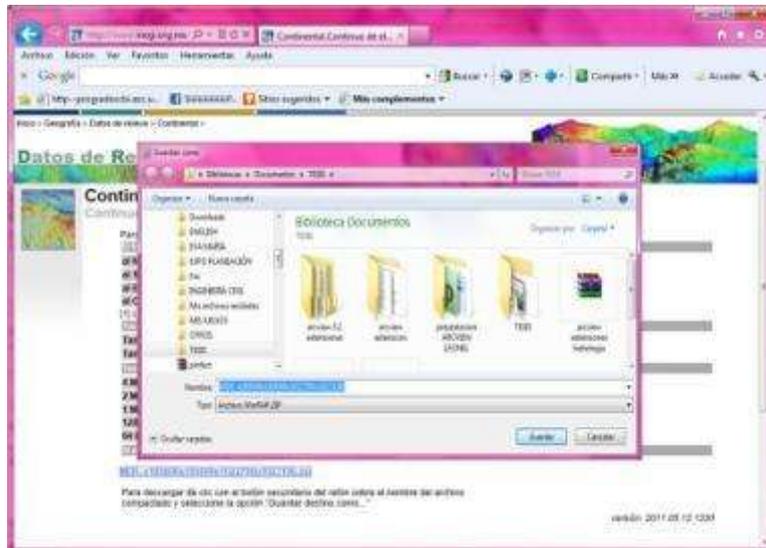
Dentro de la página donde se descarga el continuo de elevaciones, se aprecia que existen cuatro maneras de seleccionar la información:

1. Utilizando las coordenadas de longitud y latitud que encierran la zona de interés. Se da clic en “procesar selección”.
2. Introduciendo la clave de la carta que se desea descargar, por ejemplo: **E13B58**, que es la zona de San José de Chila. Se da clic en “procesar selección”
3. Realizando una selección de la entidad federativa correspondiente.
4. Descargar el Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) nacional.



IMPORTANTE: Se recomienda bajar únicamente la zona de estudio, pues algunas extensiones tienen problemas para trabajar si la información visual es muy amplia. Tal es el caso de la opción de descarga del CEM nacional, ya que mide más 1.5 GB, por ello no es recomendable esa opción. En la información de INEGI un grado de latitud/longitud representa aproximadamente 105 kilómetros y el archivo descargado es muy grande.

Una vez que se procese la selección en cualquiera de las cuatro opciones de descarga, aparece esta ventana donde indica la ubicación, tamaño del archivo, archivos a descargar (3) y al final una liga con terminación “rar” donde se le da clic o bien con el botón secundario del ratón y se selecciona la opción “Guardar destino como” apareciendo así una ventana para guardar la descarga. Se recomienda ubicarlo en un lugar de fácil acceso para cargarlos a Arcview.



Estos son los archivos extraídos de la plataforma de INEGI:

MDE-n184000s183500e1024500o1024800.bil

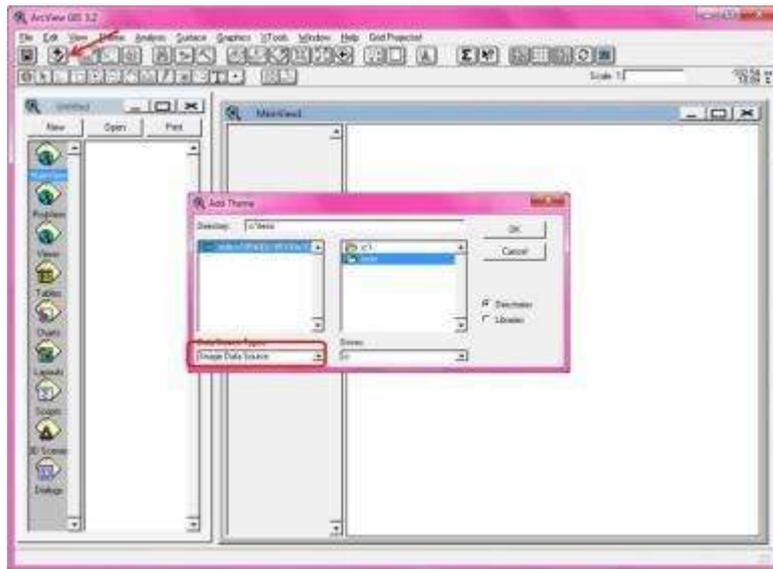
MDE-n184000s183500e1024500o1024800.blw

MDE-n184000s183500e1024500o1024800.hdr

El archivo de extensión “bil” se utilizara para trabajar, el archivo de extensión “hdr” se trabaja en el programa IDRISI.

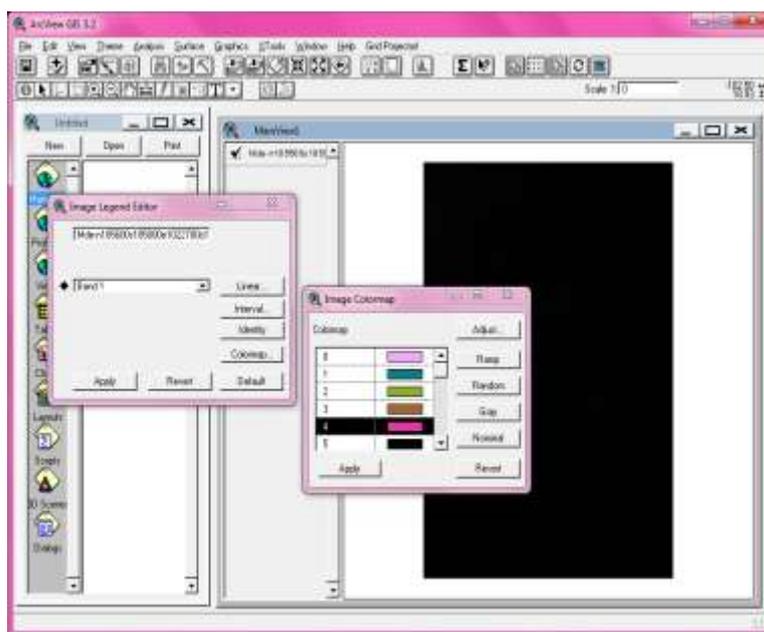
4.3.1.5 Cargando la información descargada de INEGI

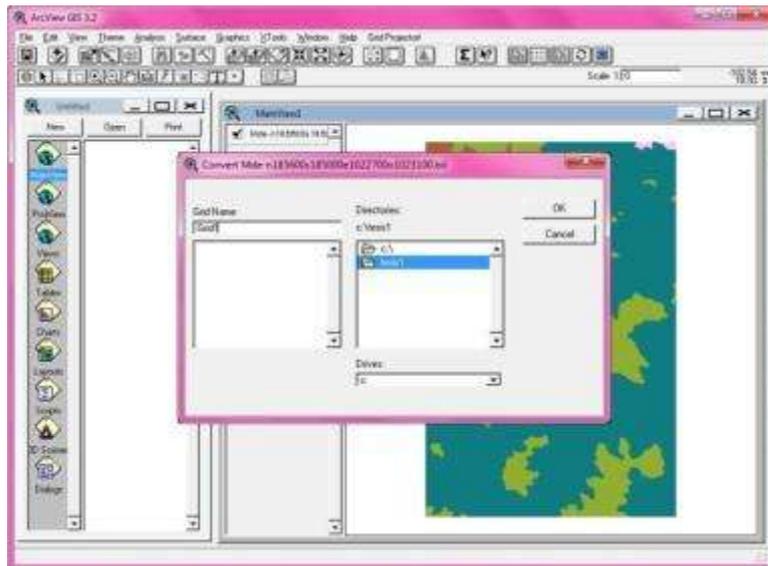
Para cargar la información y comenzar a trabajar, sobre una vista se agrega un tema (Add theme) y en la ventana se sitúa en el lugar donde se extrajeron los archivos de INEGI y se escoge la “opción Imagen Data Source” para visualizar la información disponible, se selección la imagen y se da “ok”.



Insertada la imagen aparece el nombre en la parte derecha de la vista (View) se selecciona (dando clic con el mouse en el recuadro) y aparecerá en color negro. Para modificar las propiedades se da doble clic en el nombre de la imagen y se presiona "colormap", se presiona "nominal" en la ventana "image color map" (esta es la combinación genérica de colores que ofrece el programa), a continuación en "adjust..." y se selecciona alguna opción en la ventana "adjust... colormap" y se da ok; también se pueden cambiar los colores dando clic en cada color y seleccionar el que se guste o bien en la pestaña "random" la cual brinda combinaciones de colores al azar, al finalizar la selección de colores se presiona "apply" y se observará el cambio en pantalla, sólo resta cerrar las ventanas. Esto únicamente sirve para cambiar los colores mostrados en la imagen. A partir de esta imagen aun no se pueden trabajar las extensiones de Arcview, para ello se deberá transformar la imagen en una "Grid" donde el programa puede realizar cálculos utilizando las extensiones

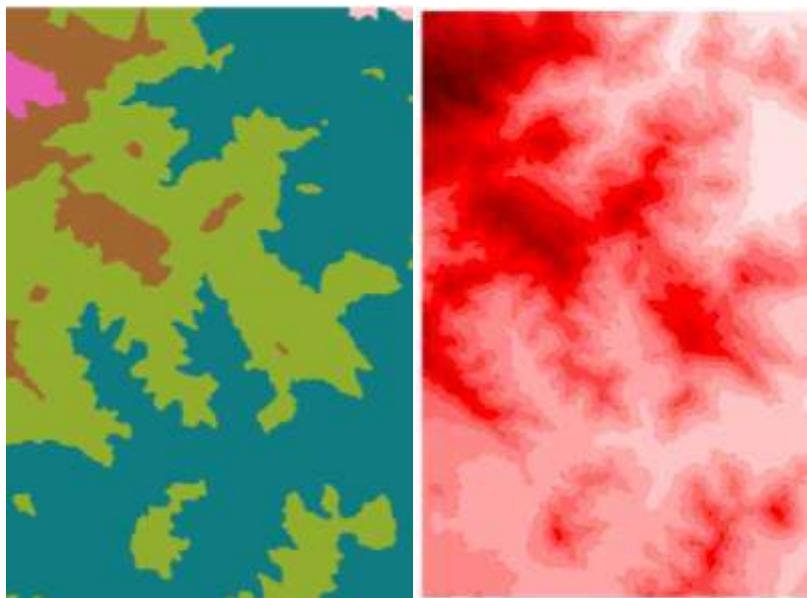
Nota: Cambiar los colores solo es cuestión de visualización.



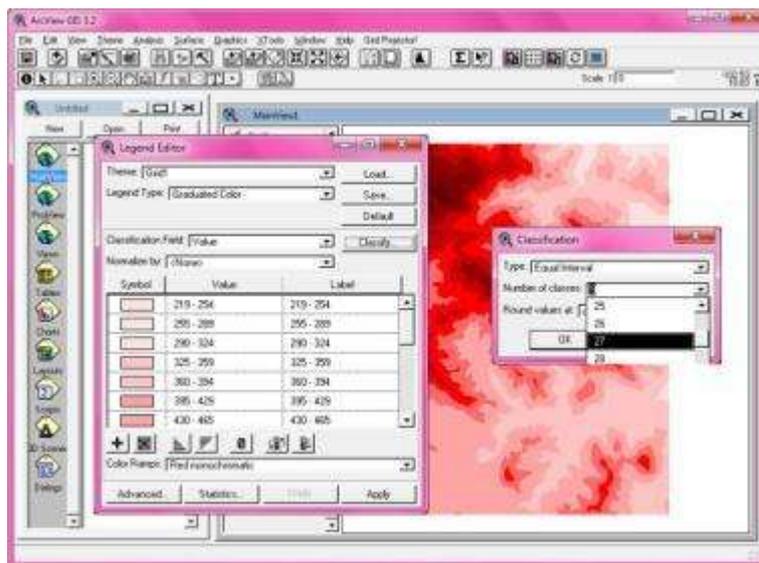


Al generar la malla (con la extensión Spatial Analyst) se pasa de la imagen descargada de INEGI (izquierda) a una grid (derecha) donde Arcview puede empezar a utilizar distintas extensiones que calcule cuencas, curvas de nivel, área entre curvas, etc.

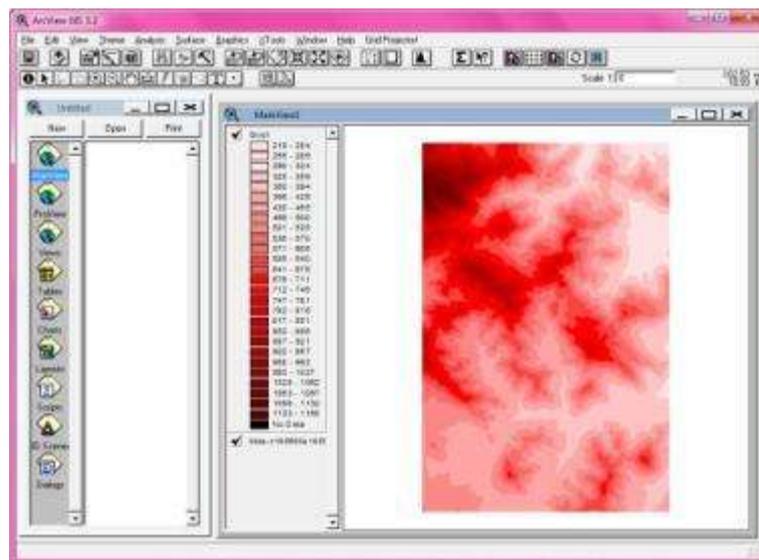
IMPORTANTE: Un posible error es que al crear la Grid abre una ventana donde muestra la carpeta temporal de la computadora, pedir que ahí la guarde y posteriormente se respalda en la carpeta de proyecto, ya que si se pide otra ubicación generar el error "segmentation violation" y no permite visualizar ni trabajar la malla generada.



Una vez creada la malla, se selecciona (dando clic en el rectángulo) y seleccionando el tema, se da doble clic para modificar propiedades, color, orden del rango de colores, cantidad de rangos en los valores, por default muestra nueve y se pueden pedir cualquier otra cantidad, sin embargo es recomendable que sea un numero múltiplo.



Al cambiar la cantidad de rangos permite visualizar con mayor precisión la forma en planta del terreno, además permite una mayor precisión en los cálculos solicitados, de tal manera que se mostraría el resultado de la siguiente manera.

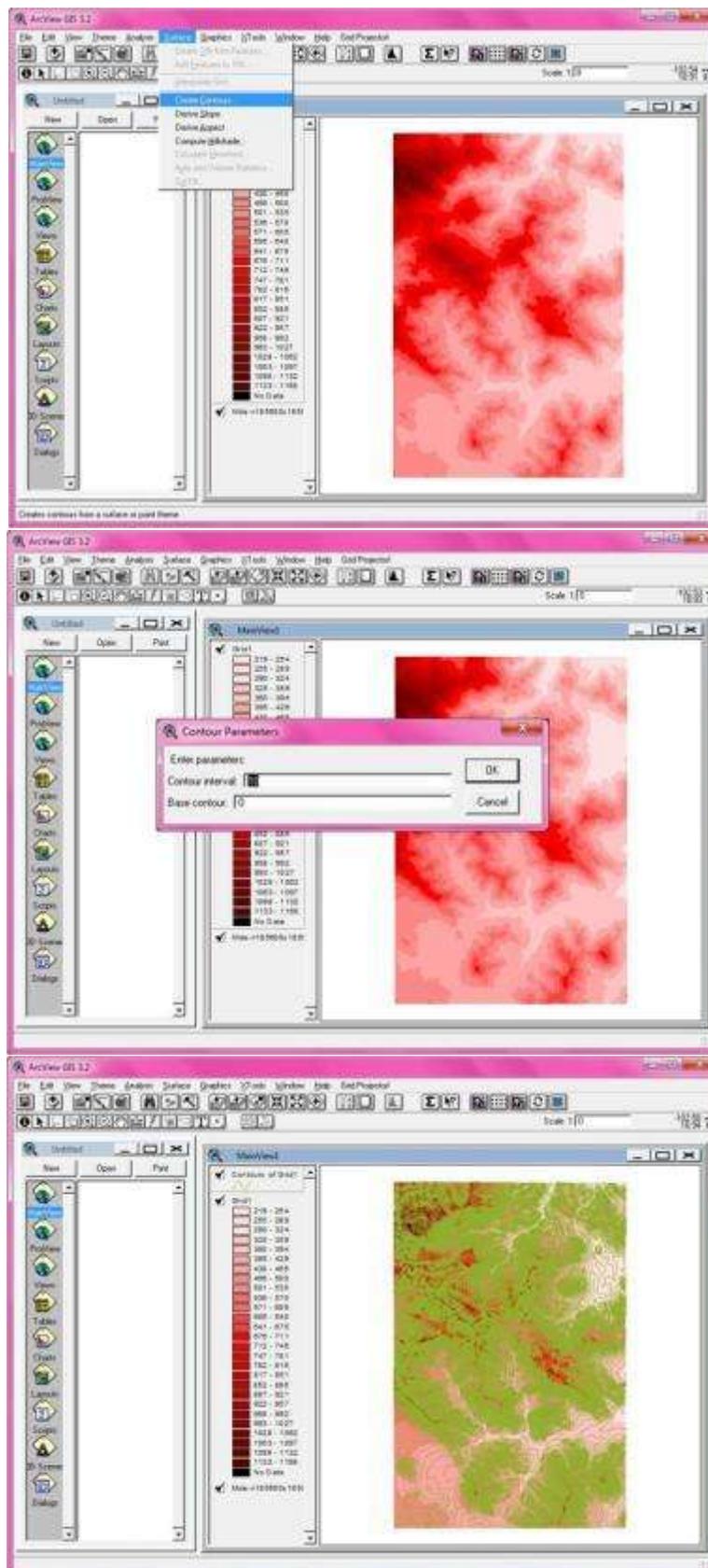


4.3.2 Descripción de herramientas

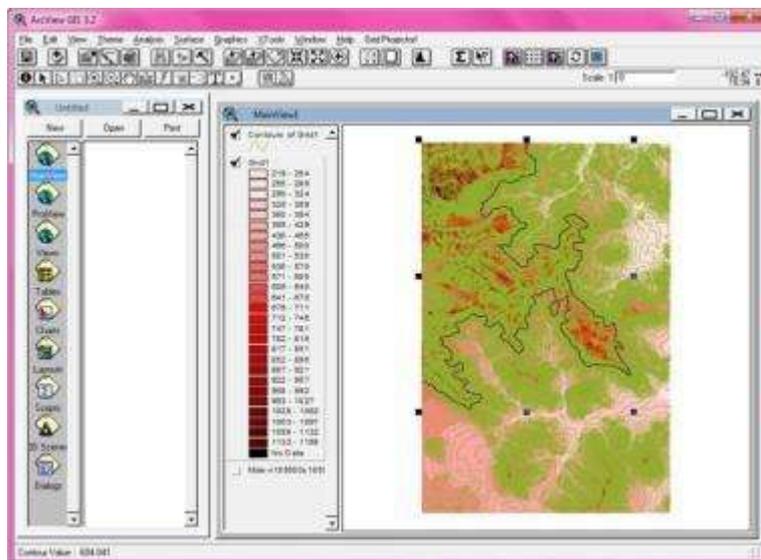
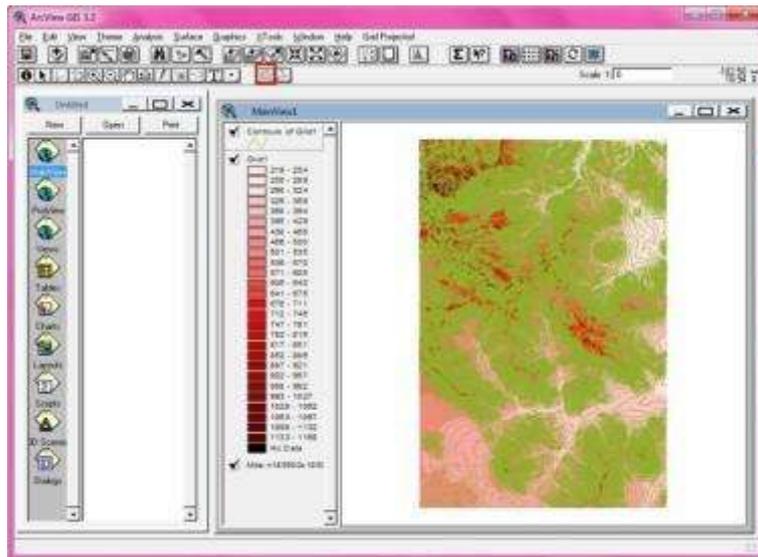
4.3.2.1 Create contour

Esta herramienta permite crear curvas de nivel a partir de una **Grid (Malla)**. Teniendo seleccionada la malla se abre el menú "surface" donde se ubica la herramienta "Create contour" en la cual solicitan dos parámetros para generar las curvas de nivel, la equidistancia (10 por default) y el inicio de las curvas (0), en ambos casos conviene mantener los valores de ambos parámetros.

Es importante mencionar que el cálculo de volúmenes, distancias, áreas, etc. no son en base a las curvas creadas, sino sobre la información de la malla. En este sentido las curvas generadas son solo referencia.



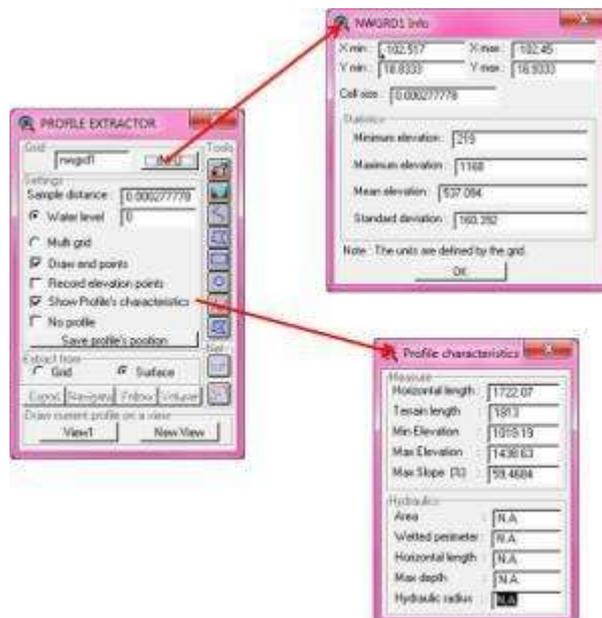
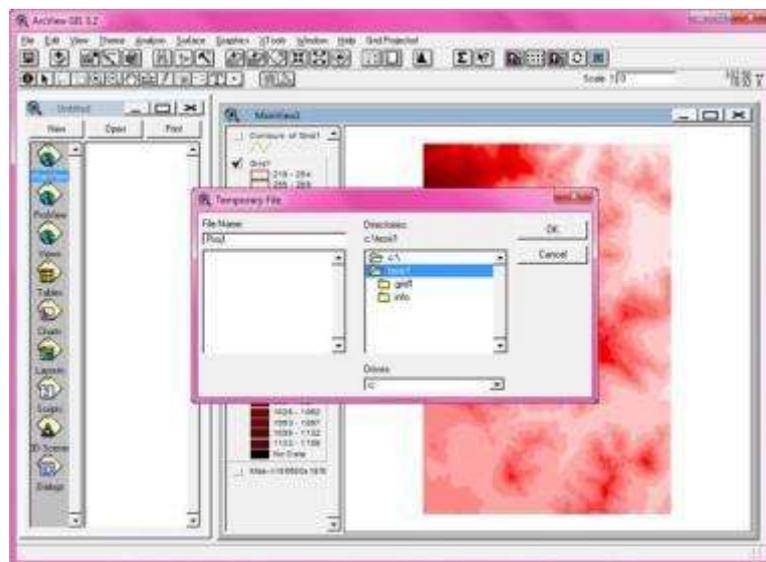
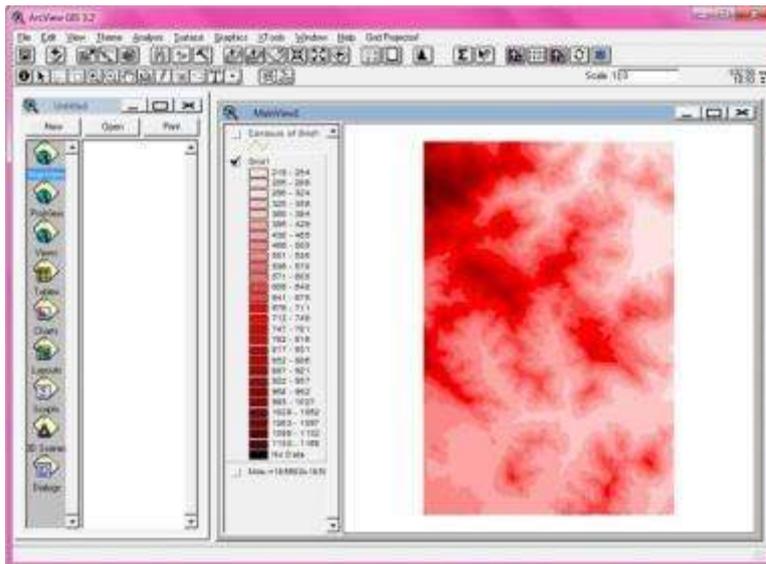
El icono "contour" (con la grid resaltada) permite marcar y señalar una sola curva de nivel.



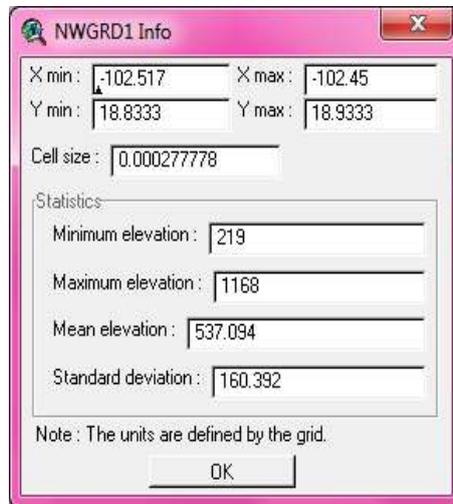
4.3.2.2 Profile Extractor

Esta herramienta permite la obtención de perfiles topográficos o cortes longitudinales sobre la malla. Se carga la extensión **Profile Extractor** (colocando los archivos en las carpetas que corresponde). En el menú "file" se activa la extensión "P.E. 6.0 for Spatial Analyst". Se mantiene activa la Grid en la cual se desea obtener el perfil topográfico y se presiona el icono con las iniciales PE que apareció en la parte superior. Pedirá una ubicación para el archivo el cual nombra por default "prof.dbf"

Manual de introducción al manejo de Arcview aplicado a Hidrología
Manejo de las herramientas / Arcview



En la ventana que apareció, el botón INFO despliega la información de la malla: longitud, latitud, elevación máxima, mínima, media.



Este icono auxilia en conocer la elevación de un punto cualquiera dentro de la Grid



Este icono permite colocar una línea sobre la Grid y muestra el perfil topográfico



Este icono permite generar el perfil topográfico con distintas líneas tangentes



Este icono permite generar el perfil topográfico a partir de una poligonal cerrada



Este icono permite generar el perfil topográfico sobre las líneas de un rectángulo



Este icono permite generar el perfil topográfico sobre el perímetro de una circunferencia



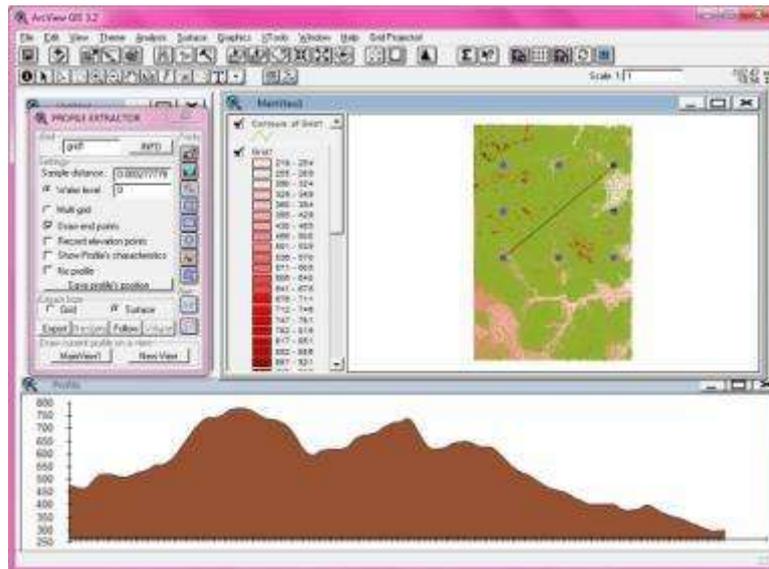
Este icono permite desplazar o redibujar la información de un perfil previamente realizado



Este icono permite seleccionar una característica del tema activo

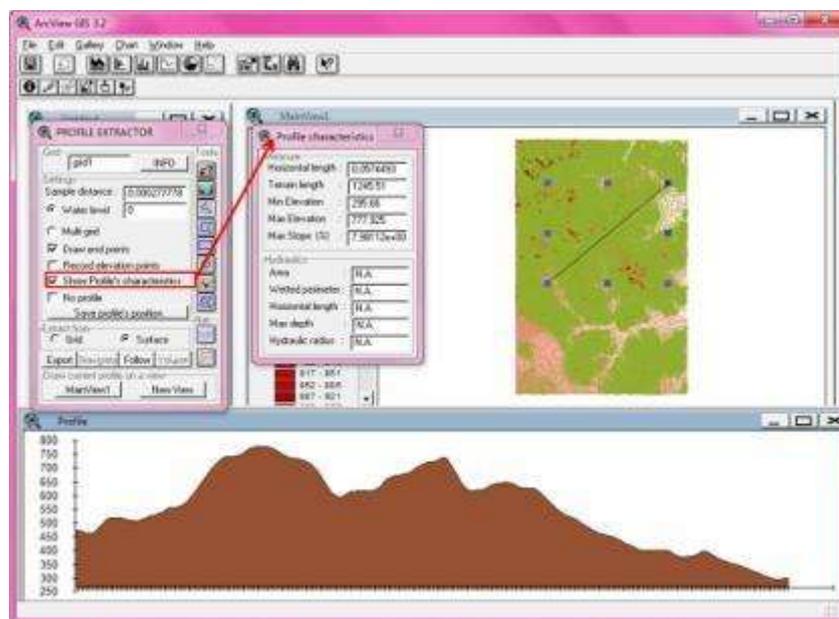
* La tercera herramienta (el tercer icono en la parte derecha) permite el trazo del perfil, bien sea de un cauce dando clic en los sitios de cambio de dirección y pendiente o bien un corte sobre una línea recta como se muestra a continuación.

Al trazar el perfil y dar doble clic se queda seleccionada la línea del trazo y aparece en una nueva ventana el perfil, además de indicarse las características más importantes en el perfil.

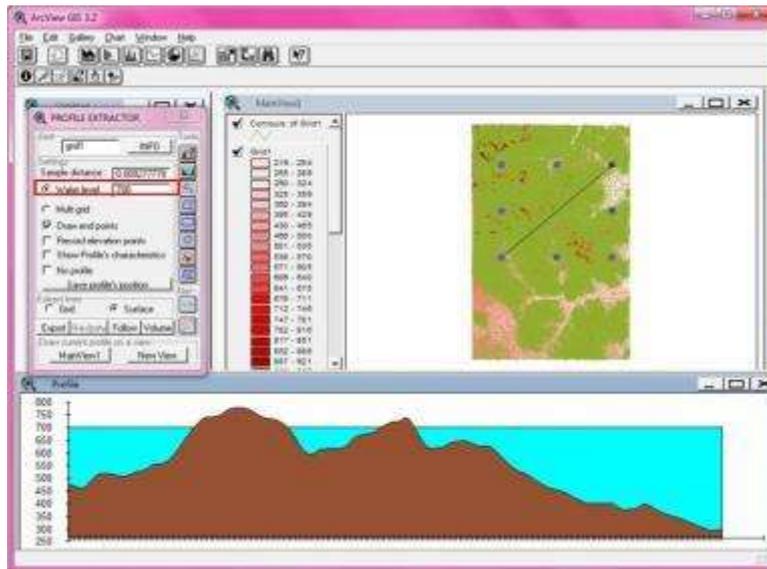


Se puede hacer uso de la opción **Extract to: Grid**, ya que todo lo trabajado previamente parte de una malla.

La opción **“Show profile characteristics”** (*Mostrar características del perfil*) en la ventana de “Profile extractor” se puede visualizar la información más importante acerca del trazo realizado sobre la malla como se aprecia en la figura.

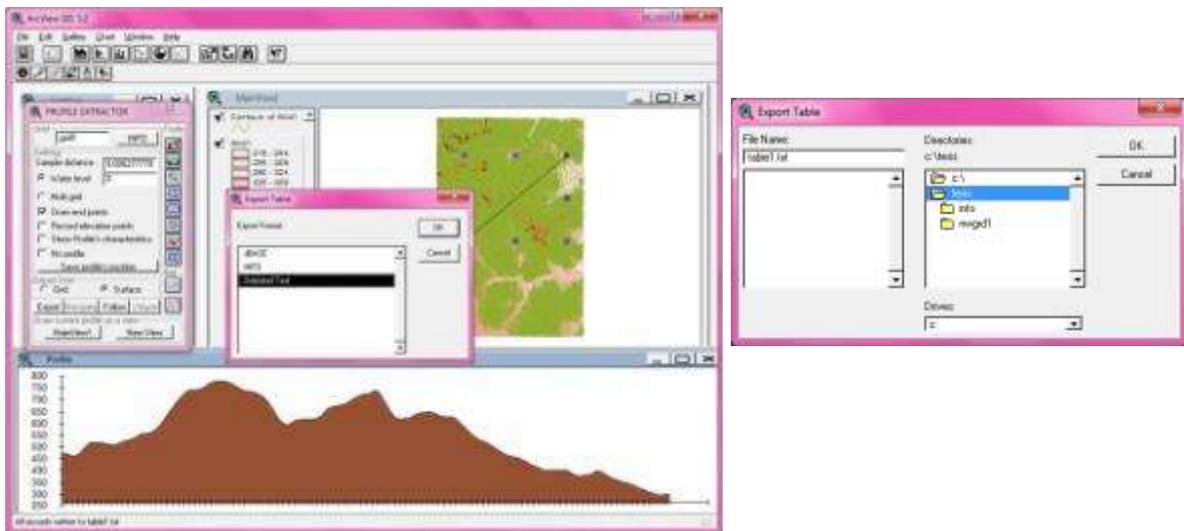


Si en la herramienta **“Water level”** (*Nivel de agua*) de la sección transversal se marca la elevación del agua (río, lago, presa, etc.) al hacer el perfil, en la ventana de características calculará el área hidráulica, perímetro mojado, radio hidráulico, máxima profundidad en la sección. Esta opción es útil cuando se trabaja con cuerpos de agua o vasos de almacenamiento.

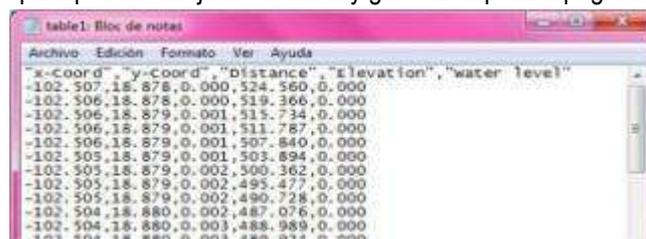


4.3.2.3 Exportando información del Profile Extractor

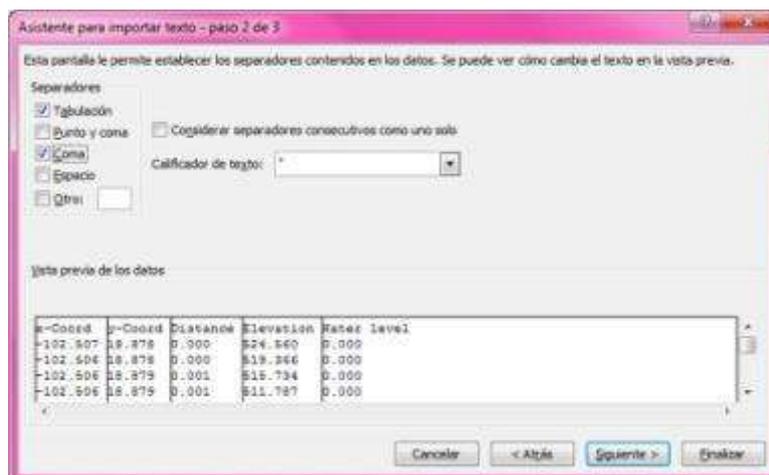
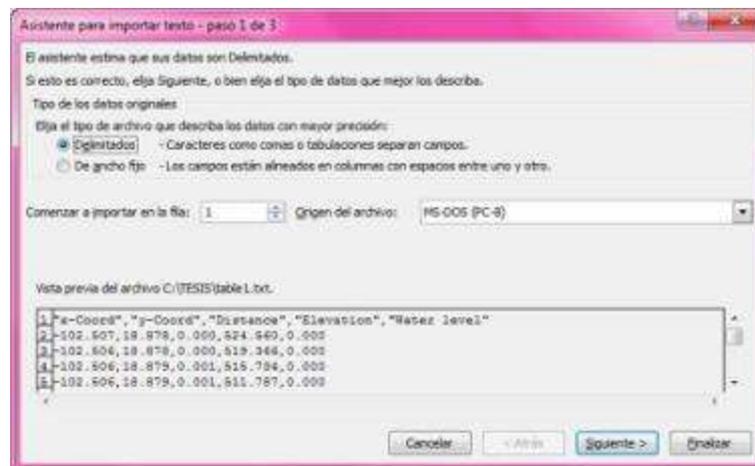
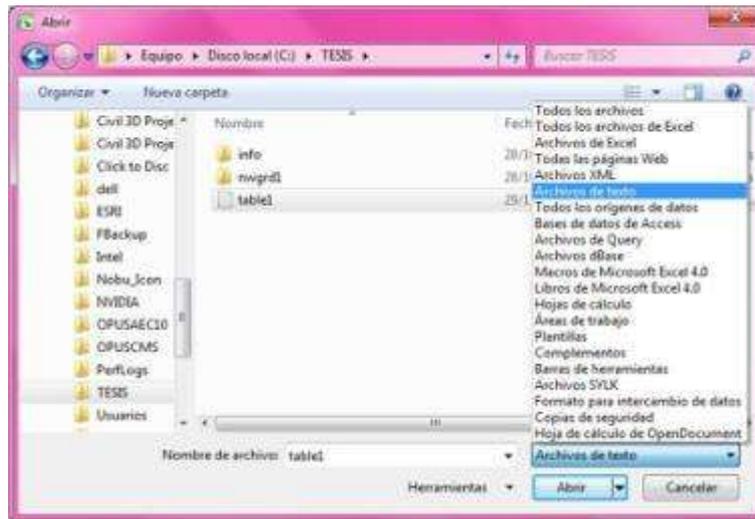
Para usar la información del perfil en otras aplicaciones se puede imprimir la pantalla, si solamente se requiere la imagen y editarla con algún programa gráfico. Si se quiere usar en Excel, por ejemplo, se debe exportar la información como se muestra a continuación, se debe seleccionar la opción como archivo de texto y guardarlo en la misma carpeta de proyecto.



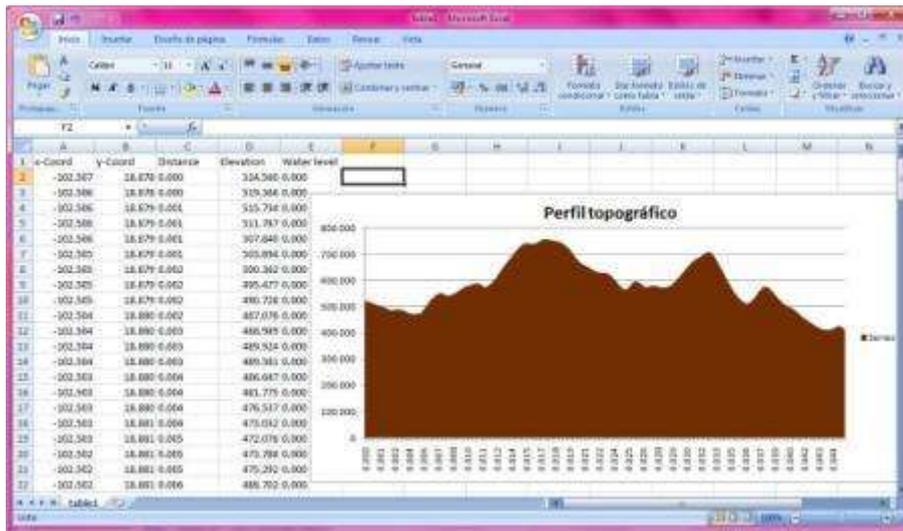
Una vez abierto el archivo exportado aparecen cinco columnas de información, se selecciona únicamente la distancia y elevación para poder trabajar en Excel y generar el perfil topográfico.



Para trabajar la información se sigue la siguiente secuencia en Excel



Se le da finalizar y la información quedará acomodada en el espacio de trabajo de Excel de la siguiente manera, a partir de aquí se puede realizar el perfil con las características que uno desee:

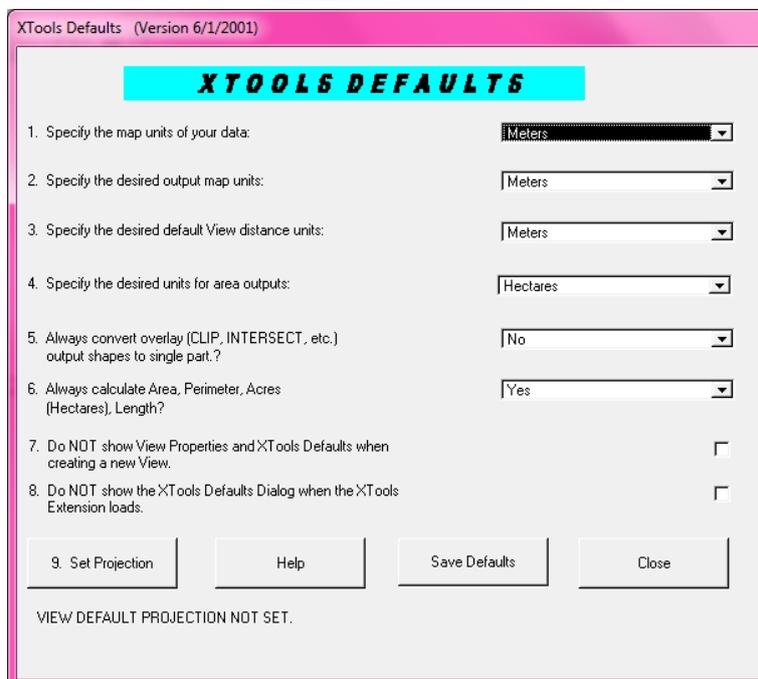


4.3.3 Estudio Hidrológico utilizando ArcView

Una vez conocidas algunas de las extensiones útiles para trabajos de hidrología, se hará una descripción general de cómo utilizar el programa ArcView para la realización de un proyecto hidrológico completo, previo a realizar cualquier paso se deberán activar las extensiones necesarias para los distintos cálculos y proceso de obtención de información, las cuales se mencionan a continuación:

- 3D analyst
- Center of mass V.1b
- Dialog Designer
- Geoprocessing
- Graticules and Measured grids
- Grid and Theme Projector V.2 (en caso de no tener esta extensión se utiliza Projection Utility Wizard)
- HEC-GeoHMS 1.1
- PE 6.0 for Spatial Analyst
- Spatial Analyst
- X Tools 6/1/01

Es importante mencionar que un grado de cartas de INEGI representa aproximadamente 105 km de longitud, esto con la finalidad de conocer el área a descargar y el tamaño del archivo descargado. Al cargar las extensiones en las carpetas correspondientes en el disco duro y activarlas al iniciar el proyecto aparece la siguiente ventana, en los opciones 1, 2 y 3 se coloca la opción "Meters" y en la opción 4 "Hectareas"

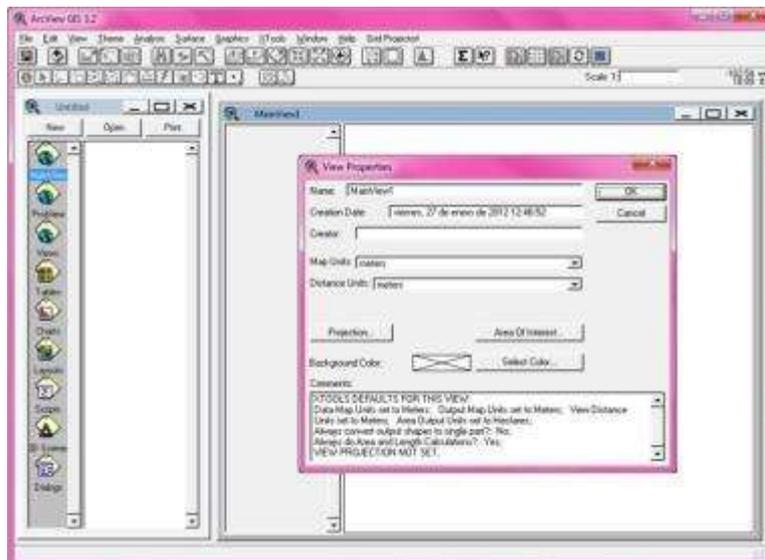


Con estas opciones los resultados obtenidos serán acordes con la información obtenida de la plataforma de INEGI, comentada con anterioridad y como se verificará de nueva cuenta más adelante en este documento. Una vez instaladas las extensiones citadas aparece en la ventana izquierda las opciones

“MainView” (Vista principal) y “ProjView” (Vista de proyecto);” “MainView” será la vista sobre la que se trabajará en el proyecto activo.

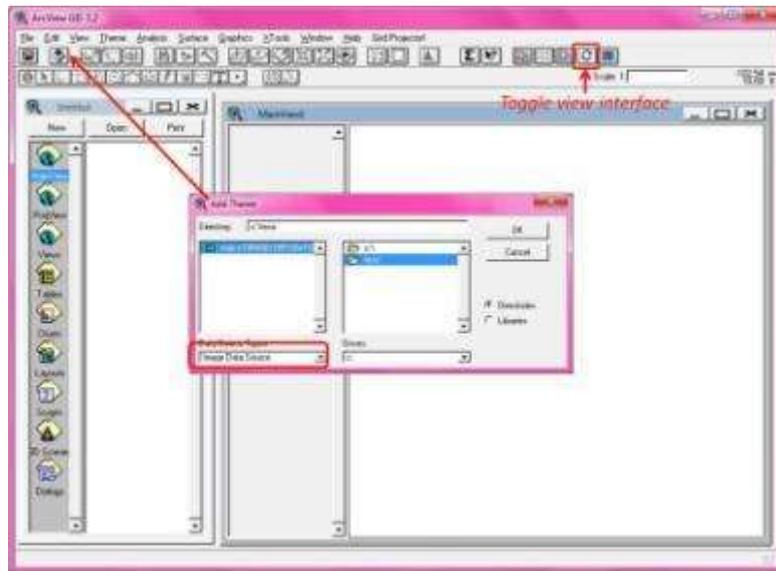


Al cargar una nueva vista “New/Main View”, automáticamente aparece en pantalla la ventana “View Properties” (Propiedades de la vista) donde se especifican las características que tendrá la información trabajada en ese espacio, como se aprecia en segundo plano aparece una serie de iconos que permiten el uso de las distintas extensiones dadas de alta para la realización del estudio hidrológico.



A continuación se cargará a la página de inicio de programa la información del sitio de estudio (se recomienda que la carpeta y los nombres asignados a **las distintas mallas creadas en el estudio no contengan más de 8 caracteres ni espacios**, para que no marque errores en el proceso, además se recomienda guardar el proyecto después de cada paso que se realice).

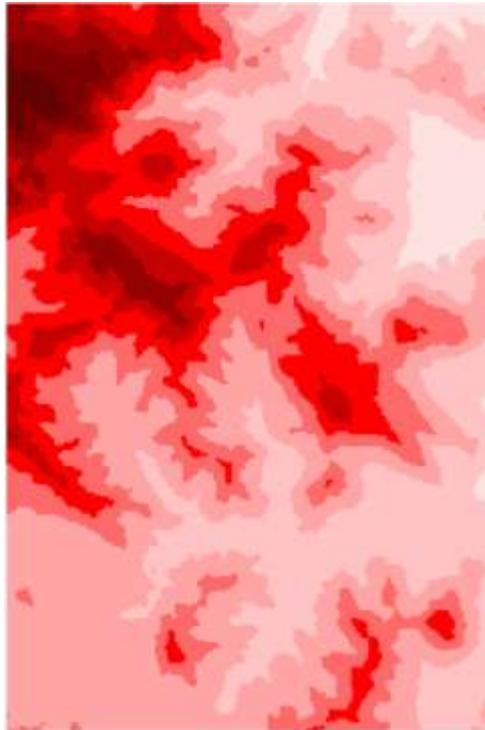
De acuerdo con las extensiones dadas de alta y para su correcto funcionamiento se trabajará en el espacio de la **“Main View”** (*Vista principal*), se observa en la imagen que aparece el icono **“Toggle view interface”** (*Alternar interfaz de vista*), que permite cambiar entre **“Project View”** y **“Main View”**, en esta última es donde se trabajara con la extensión *HEC-GeoHMS* para los cálculos hidrológicos.



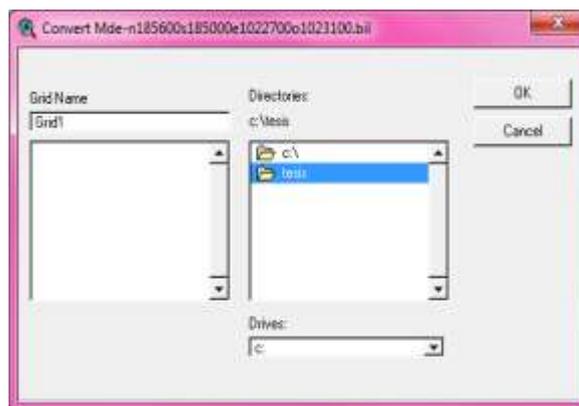
Al cargarse el Modelo de Elevación Digital descargado del sitio web de INEGI del área de estudio (la cual aparece en negro) se le puede cambiar colores con fines de visualización únicamente al dar doble clic sobre el nombre de la imagen en la ventana del tema, ya que los cálculos y todo el trabajo se realiza sobre la **Malla** (*Grid*) creada a partir de ella. Es importante recordar que la imagen de INEGI está dada en grados, se muestra el resultado de este paso (puede consultarse el apartado 4.3.1.5 en la página 24).



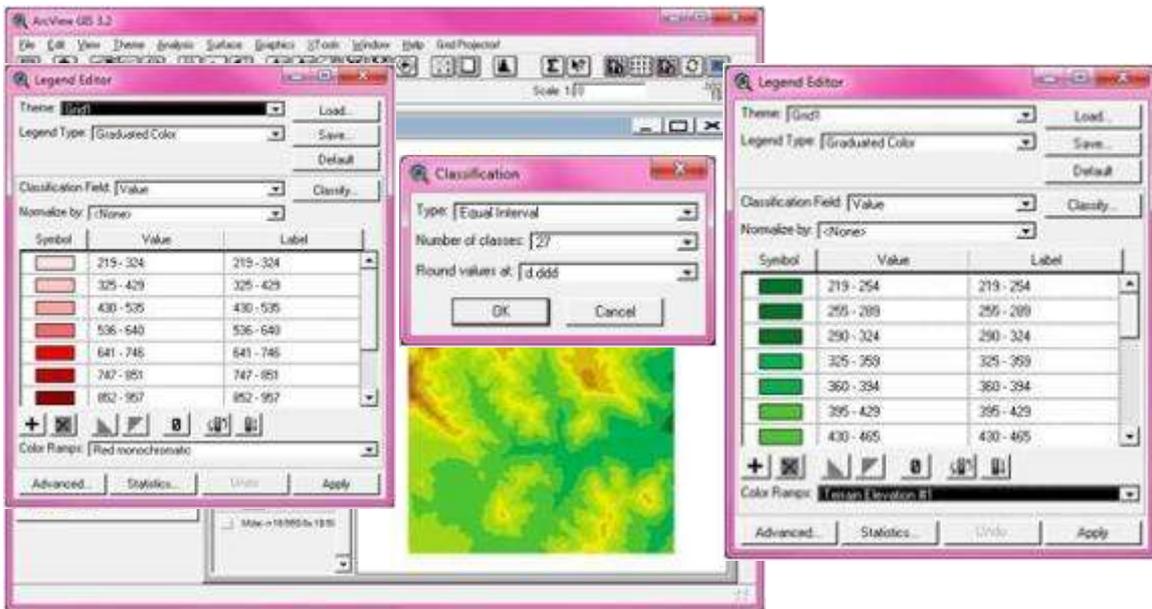
A continuación se transforma la imagen a “**Grid**” (*Malla*), (puede consultarse apartado 4.3.1.5 en la página 26).



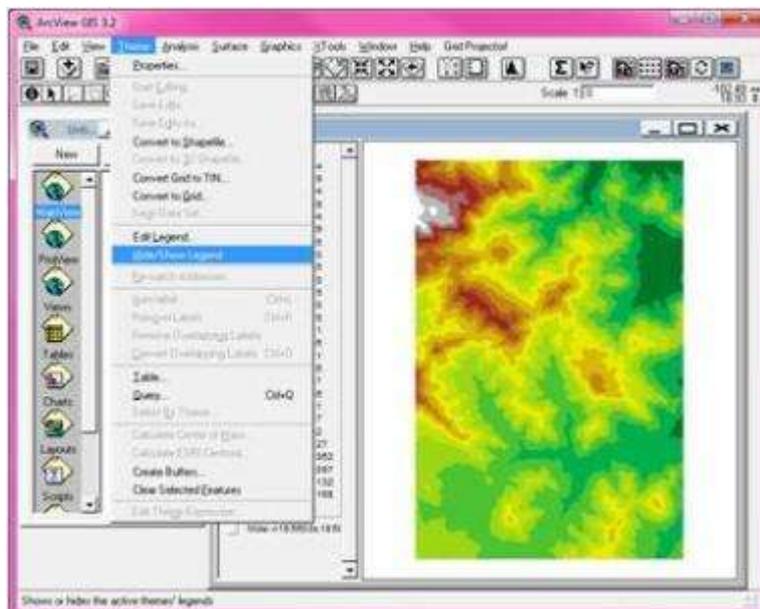
Previo a realizar la malla, antes de dar clic a la opción aceptar (“ok”) en la ventana se cambia la ubicación sobre el disco duro donde se guardará la ubicación del archivo, es conveniente que se tenga previamente esta carpeta y es donde se concentrará toda la información del proyecto, recuerde que debe ser un nombre corto de **máximo ocho caracteres**.

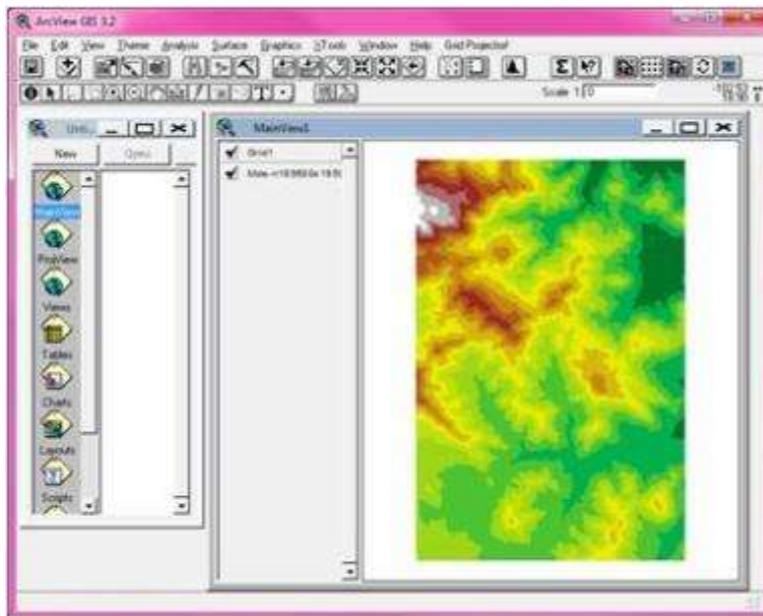


Al crearse la malla tiene 9 intervalos de elevaciones de terreno, se puede ampliar dando doble clic en el nombre para que aparezca la ventana de “**Legend editor**” (*Editor de leyenda*), en el botón “**Classify**” (*Clasificar*) se puede cambiar el “**Number of clases**” (*Número de clase*) recordando que es recomendable que se trate de un número múltiplo de 9, es decir 18, 27, etc. A su vez en la parte de “**Color ramps**” se puede seleccionar la opción “**Terrain elevation #1**” (*Elevación del terreno*), lo cual nos permite visualizar a través de colores las elevaciones del terreno (como se mencionó anteriormente sólo es cuestión de visualización dado que el programa trabajará con los datos numéricos) y se verá como sigue a continuación. (Se puede consultar el apartado 4.3.1.5 en las páginas 27 y 28)

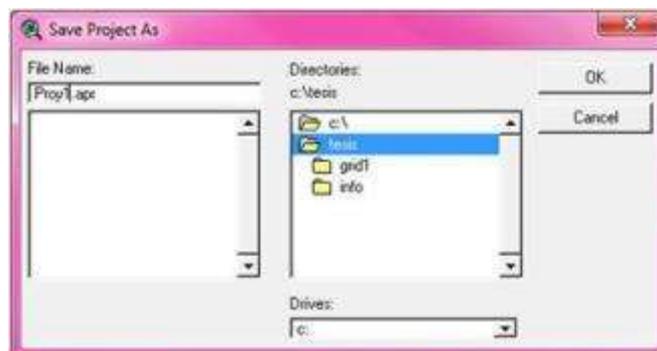


Al empezar a generar los temas y las distintas mallas y shapes se satura el espacio, por ello se puede ocultar o mostrar la información de las leyendas para optimizar la visualización de la información disponible, esto se hace en el menú **"Theme"** (*Tema*) con la opción **"Hide/show Legend"** (*Ocultar/Mostrar leyenda*). Si se desea también se puede eliminar el tema del Modelo de Elevación Digital descargado de INEGI, ya que el trabajo se realiza sobre la malla y no sobre la imagen, por lo cual el modelo ya no es necesario, y a su vez contribuimos a no saturar el espacio. Esto se hace en el menú **"Edit"** (*Editar*) seleccionando **"Delete theme"** (*Borrar tema*), y dar clic en la opción **"Yes"** (*Si*) para solamente eliminar ese tema, porque si se oprime la opción de **"Yes to all"** estamos borrando todos los temas.





Se recomienda guardar el proyecto continuamente para no perder los avances realizados. Para esto se da clic en la opción “**Save Project**” (*Guardar proyecto*), se ubica la carpeta en el disco duro destinada al proyecto y se da “**Ok**”



A continuación se deberá realizar la proyección de la malla obtenida de la imagen de INEGI

Explicación: la Tierra se divide en meridianos los cuales no son iguales en dimensión debido a la forma de la corteza terrestre, recordando que los polos se encuentran achatados, por ello existen distintos tipos de proyección, ya que se tiene como forma un geode.

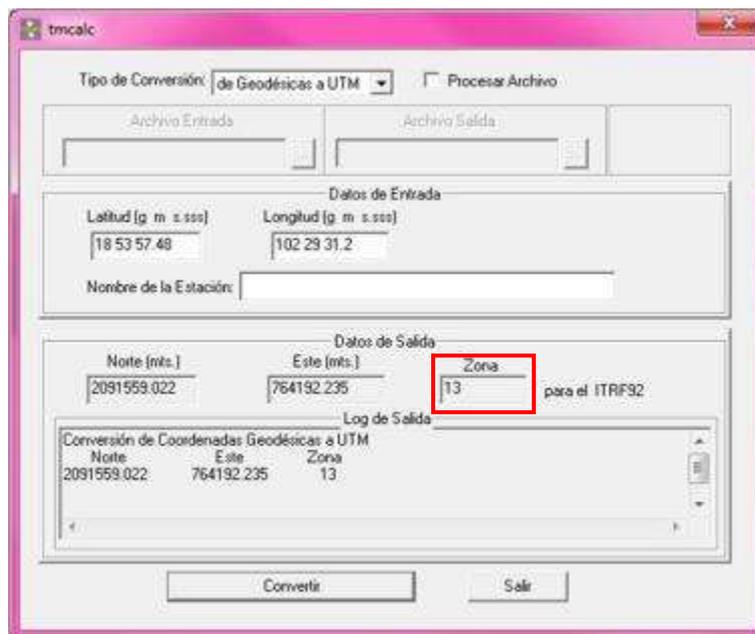
La información de INEGI se proporciona en coordenadas geodésicas (expresados en grados, minutos, segundos) y es conveniente proyectar en el sistema ITRF92 época 1988.0, elipsoide GRS80, es decir proyectar la información a una Cónica Conforme de Lambert (CCL) o bien trabajar en el sistema WGS 84 ya que es un sistema de coordenadas cartográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas.

WGS 84 son las siglas en inglés de World Geodetic System 84 (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984), se trata de un estándar en geodesia, cartografía, y navegación, que data del año 1984. Tuvo varias revisiones siendo la última en el año 2010, por lo cual es recomendable revisar los cambios o actualizaciones a dicho sistema, el cual se estima genera un error de cálculo menor a 2 cm.

El WGS 84 se apoya en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que consiste en un patrón matemático de tres dimensiones (que son la latitud, la longitud y la altitud) que representa la Tierra por medio de un geode (un tipo de elipsoide), que es un cuerpo geométrico más regular que la Tierra, que se denomina WGS 84. El estudio de este y otros modelos que buscan representar la Tierra se llama Geodesia.

Por una cuestión de practicidad, proyectamos los sistemas de coordenadas geodésicas (expresados en grados, minutos, segundos) a sistemas de coordenadas cartesianas cuya finalidad es pasar de un modelo 3D a uno 2D, llamados sistemas de proyección UTM (De las siglas *Universal Transverse Mercator*) que expresan en metros las dimensiones geodésicas (en orden a su relación a un punto de origen arbitrario) que facilita los cálculos de distancia, superficie, pendiente y características de la corteza terrestre.

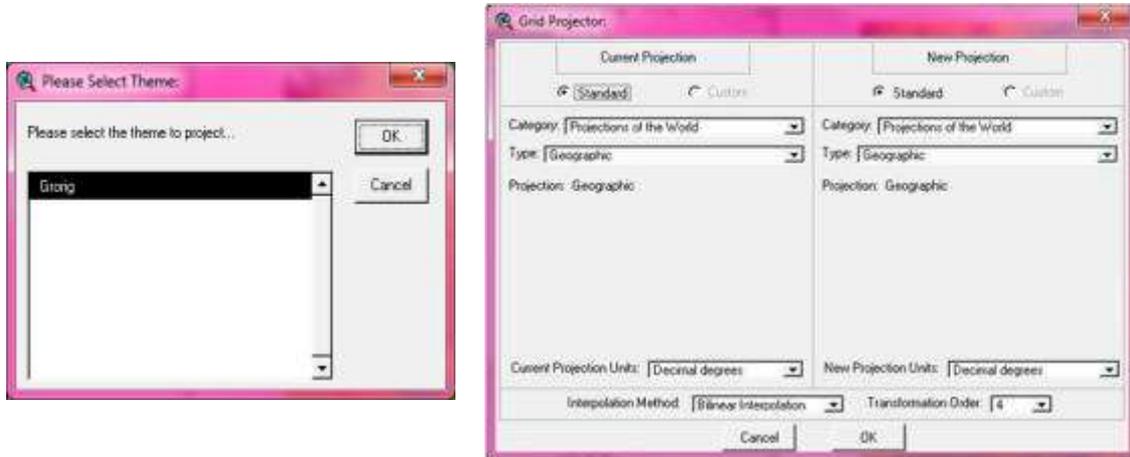
Es necesario descargar el programa TMCAL, que permite transformar las coordenadas geodésicas a UTM, en el mismo se debe indicar mediante espacios los grados, minutos, segundos. Ejemplo: en la malla se ubica un punto para obtener su posición latitud 18.8993 y longitud -102.492, se debe transformar a 18°53'57.48", -102°29'31.2" para poderlo introducir en el programa, se da clic en la opción **convertir**, dando como resultado en **datos de salida** la zona UTM en la cual se encuentra la malla y que se utilizará para la correcta proyección de los distintos mapas de información a utilizar en el proyecto, como se observa en la siguiente imagen.



Ahora, en la pantalla de Arcview se debe dar clic en la ícono “**Grid/Theme Projector**” (*Malla/Tema projector*) para cambiar las coordenadas:

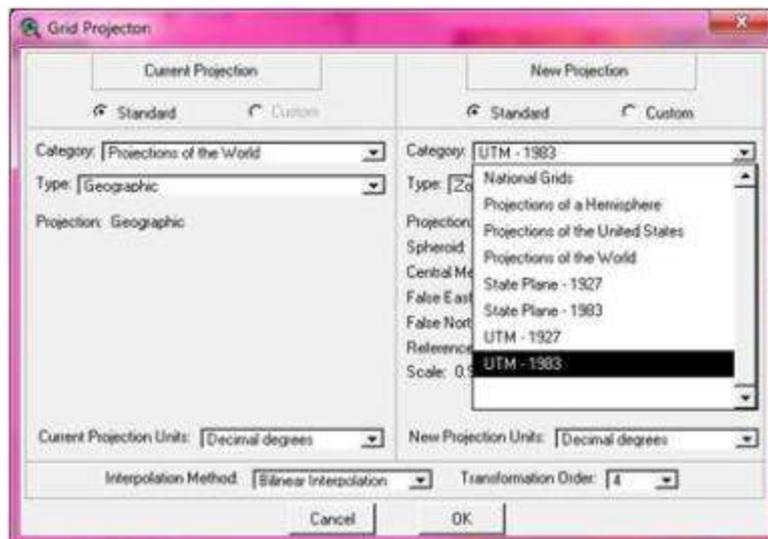


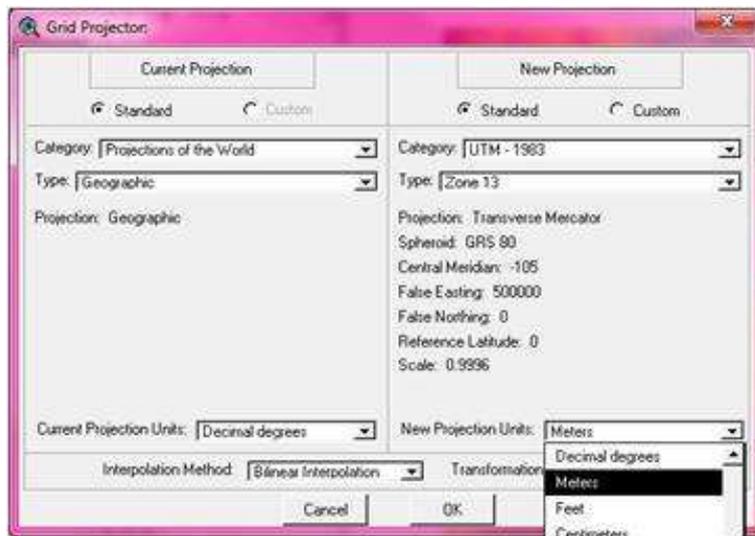
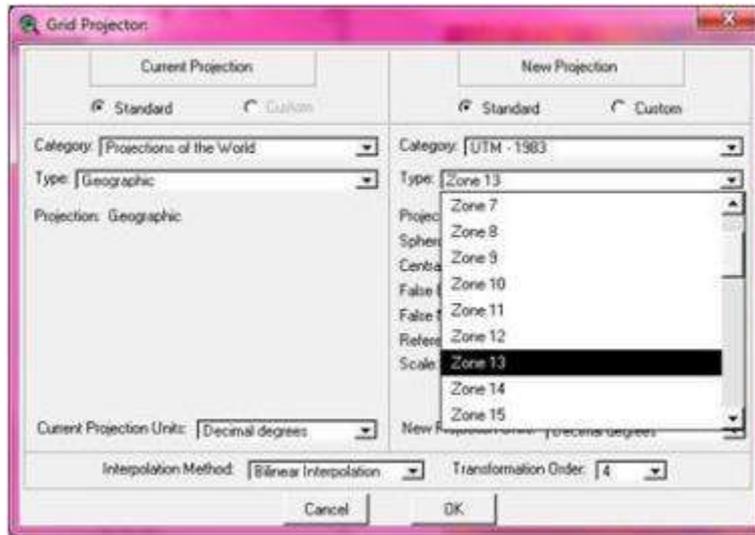
Al iniciar la proyección, en primera instancia pide indicar que malla o tema se proyectará en caso de tener varias, o bien proyectará la que se encuentre seleccionada, mostrando la siguiente ventana.



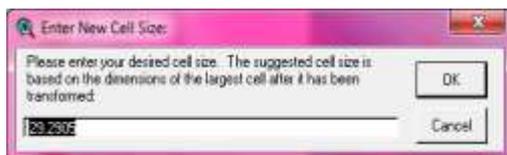
NOTA: antes de generar la proyección es importante revisar el archivo de metada del elemento a proyectar que indica las características y dimensiones de la información original, ya que pueden variar las características éstas para un mismo sitio de descargar o instituto o usuario, es decir, en algunos caso la información no se halla actualizada y se pueden tener dos sistemas de referencia distinto.

En ella se aprecia que pide información de los datos actuales de la malla (parte izquierda) que son los atributos tomados como referencia para su generación y los datos a los cuales convertirá (parte derecha), en nuestro caso pasaremos de coordenadas geodésicas a coordenadas UTM, se selecciona la opción UTM-1983 de la ventana de "Category" (Categoría), en la ventana de "Type" (Tipo) se coloca la zona UTM del sitio de estudio obtenida anteriormente con apoyo del programa TMCal (Zona 13) y en la ventana "New Projection Units" (Nuevas unidades de proyección) se escoge "Meters" (Metros).

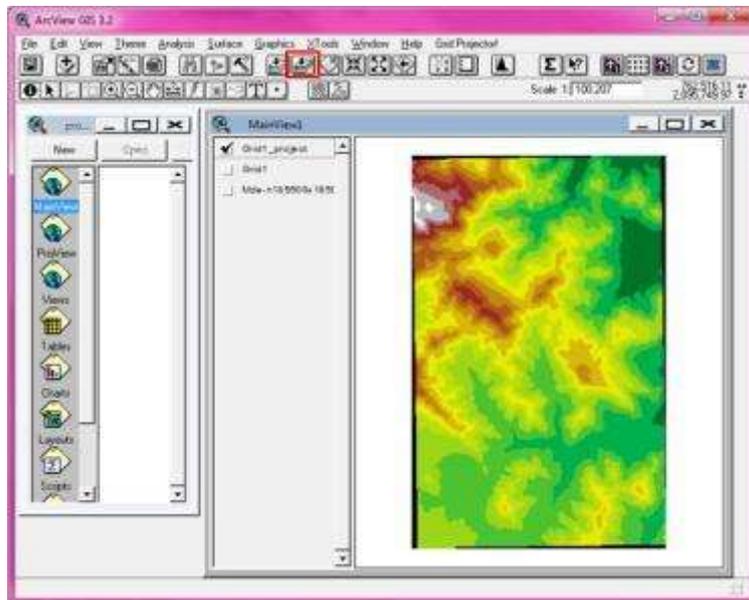




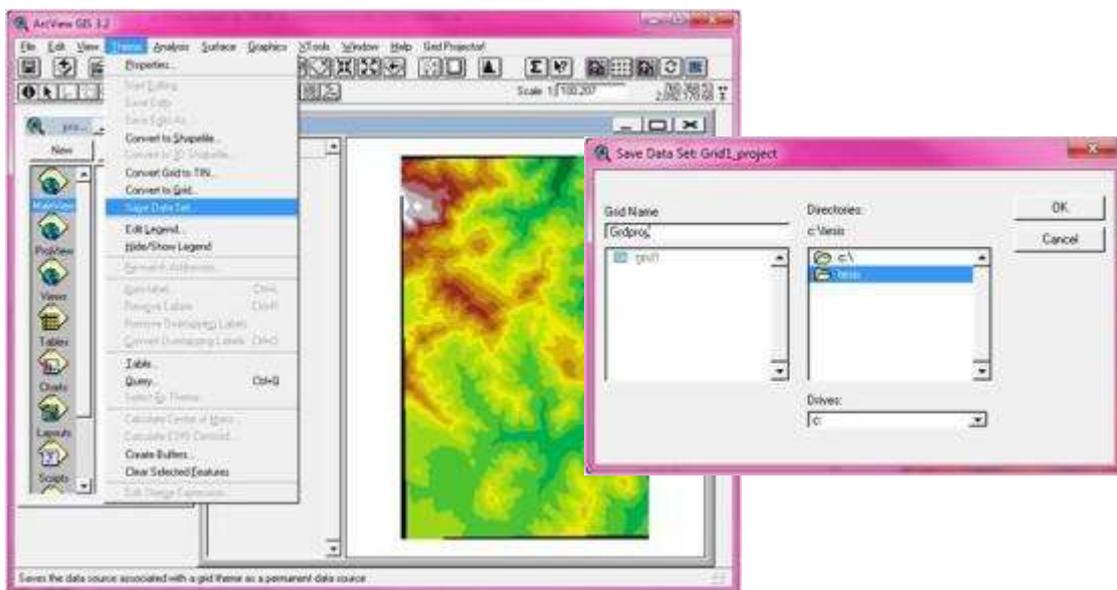
El cambio de sistemas pedirá introducir el valor para el tamaño de celda, que por default es el 1% del ancho de la malla, es recomendable no modificar y dar aceptar, una vez hecha la proyección pregunta si se desea mostrarla, al decirle que si, pide que se indique en donde se visualizará, para lo cual se selecciona la vista principal en la que se está trabajando.



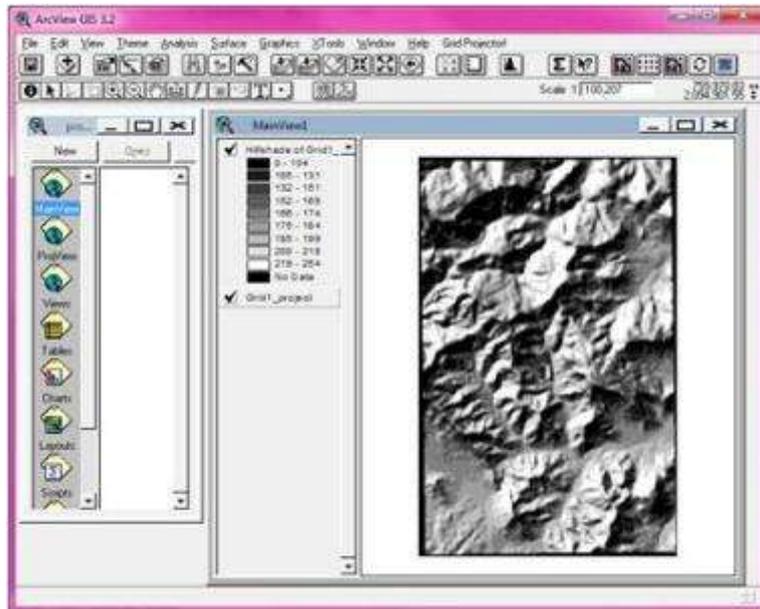
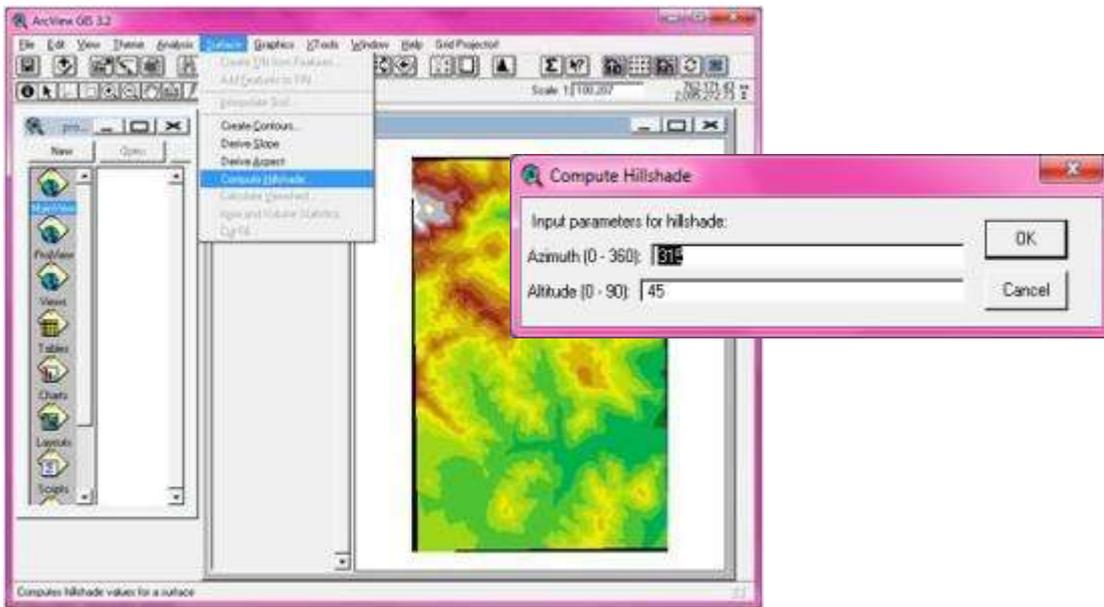
Al mostrarse la proyección puede suceder que al apagar el resto de los temas, se vea la pantalla en blanco esto es porque la geo-referenciación hecha por el programa, para visualizar el nuevo tema se utiliza la opción **“Zoom to Active Theme”** (Acercamiento para el tema activo), observe que ahora la malla generada se llama **“Grid_project”** en la cual se seguirá el resto del trabajo.



La proyección sólo se generó, por lo tanto se debe guardar usando en el menú **“Theme”** la opción **“Save data set”** (Guardar conjunto de datos), recordando guardar en la misma de carpeta donde se han guardado los archivos anteriores.

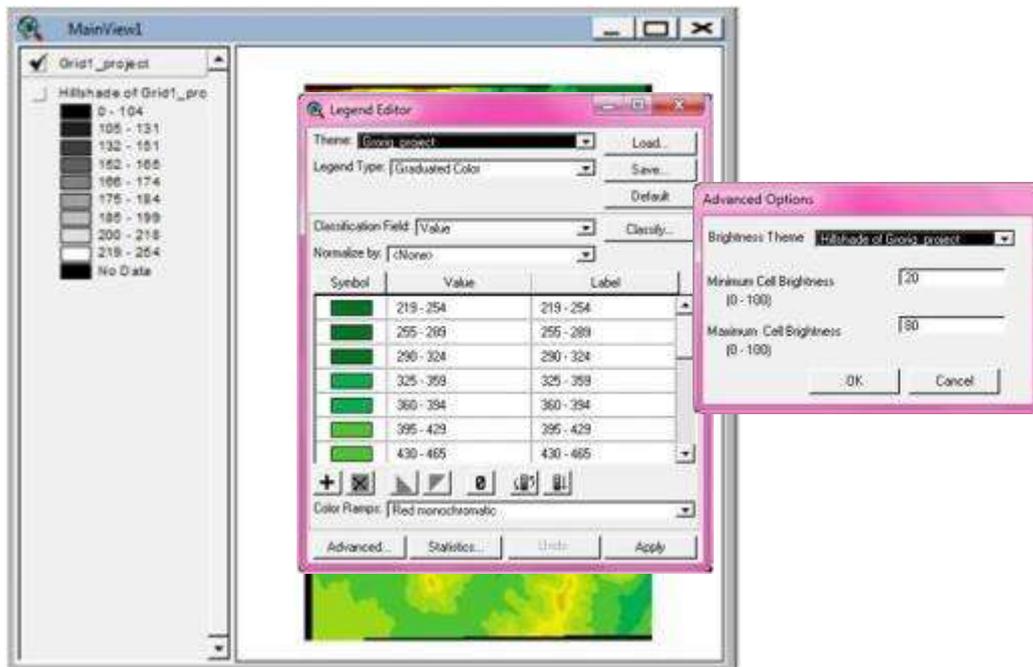


Con la malla proyectada se puede obtener el sombreado del terreno como apoyo visual para el análisis de los datos pero que no influye en su cálculo, el cual se genera en el menú **“Surface”** (Superficie) utilizando el comando **“Hillshade”** (Sombreado del relieve); en el siguiente recuadro se muestran las opciones para la iluminación, pudiendo cambiar la orientación del sol y por tanto las sombras, es conveniente dejarlas como están. Al terminar se muestra la siguiente imagen:

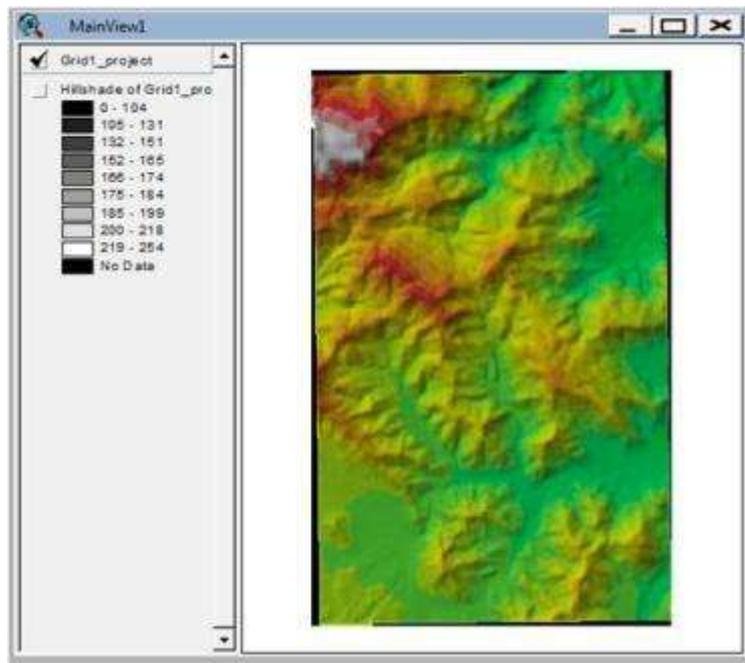


La malla de relieve generada también se debe guardar, se sigue el mismo procedimiento descrito anteriormente en el caso de la proyección.

Para combinar la malla proyectada con su sombra, se da doble clic en la malla proyectada (en nuestro caso se le nombró "Grid1_project") y a continuación en la ventana "Legend Editor" (Editor de leyenda), se utiliza el botón "Advanced" (Avanzado) y la nueva ventana de "Advanced options" (Opciones avanzadas) del menú desplegable permite seleccionar la opción "HillShade of Nwgrd1_project" (Sombra de la malla proyectada), que corresponde a su sombra, se da ok y a continuación "Apply" (Aplicar) para finalmente cerrar la ventana.



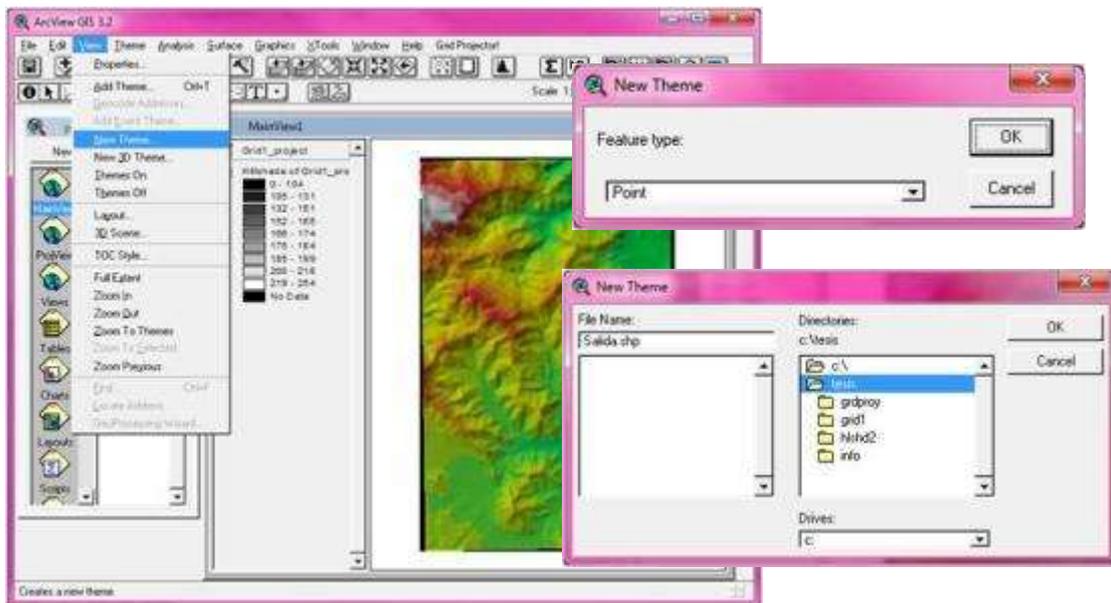
El resultado de los pasos anteriores será una visualización del terreno natural como si fuese una vista aérea tridimensional:



En el caso de los estudios hidrológicos, siempre tendremos un punto de referencia que será la ubicación de la obra hidráulica que se diseña por ejemplo una presa, una alcantarilla o cualquier estructura de cruce, y debemos conocer cuál es la cuenca hidrológica que se delimitará a partir de dicho sitio para poder realizar el cálculo y análisis completo correspondiente para calcular el escurrimiento que se tendrá en dicho lugar. Este tipo de estructuras y otras de interés para el estudio se colocan con el botón **“Draw Point”** (*Dibujar punto*).

Si se desea conocer una subcuenca o microcuenca este objeto permite identificar el punto de salida de la cuenca, y por lo tanto, es el sitio georeferenciado desde donde se delimita el parteaguas y por ende se podrán determinar todas las características físicas (área, perímetro, tipo y uso de suelo, pendiente de la cuenca, centro de gravedad, orden de cuenca, orden de corriente, pendiente del cauce principal, etc.)

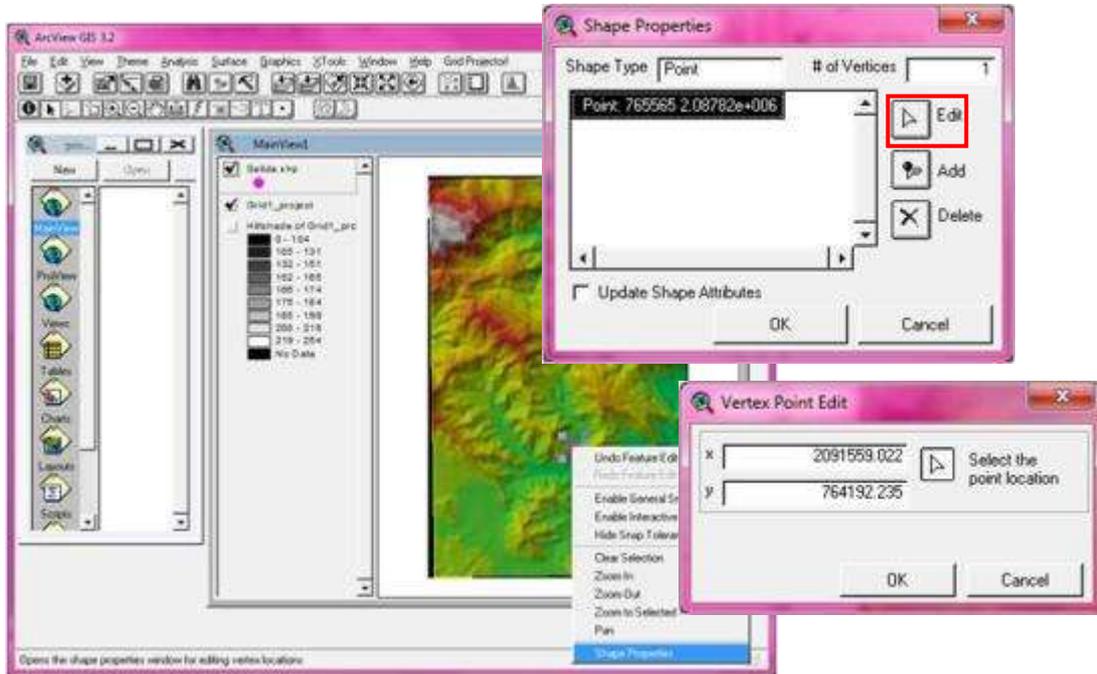
En el menú "View" (Vista) se selecciona "New Theme" (Nuevo Tema) que puede ser un punto, una línea o bien un polígono, en nuestro caso será la primer opción para ubicar el sitio de la obra de estudio.



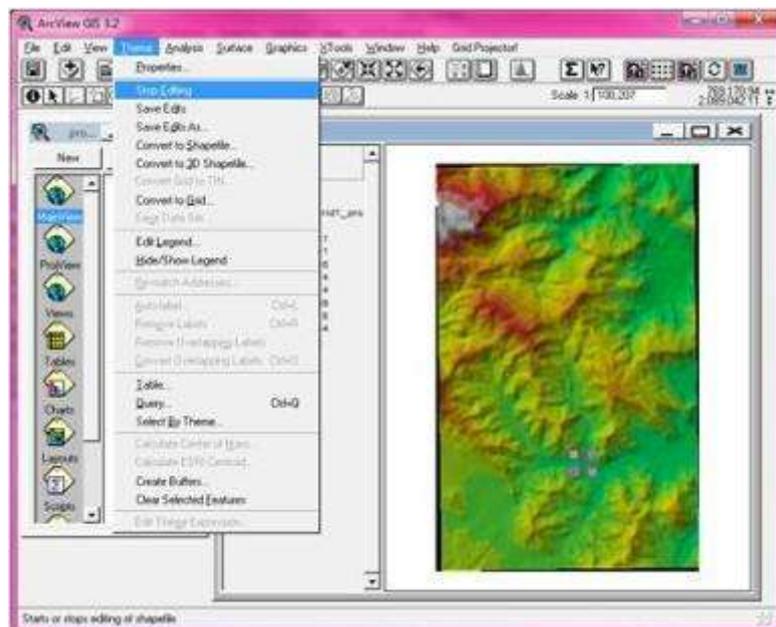
Al crearse el tema y aparecer en la pantalla principal, se observa que el borde se encuentra con línea punteada, significa que el objeto está siendo editado, se coloca en una posición aproximada a la real y se podrá ver de la siguiente manera:

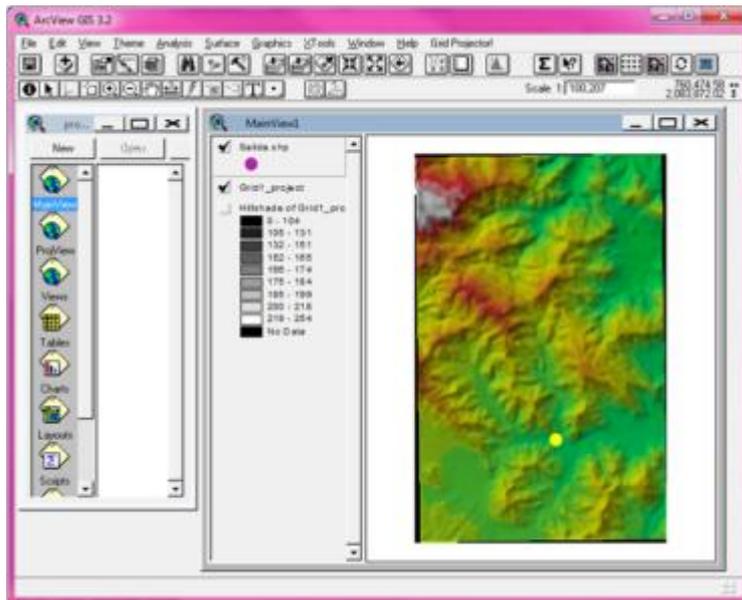


Para situarlo con sus coordenadas exactas, en el menú “Theme” se da clic en “Start Editing” (Iniciar edición), se mantiene presionado el botón derecho del mouse, para editar sus propiedades esto en “Shape Properties”, en la opción “Edit” se pueden dar con precisión las coordenadas (x, y) que corresponden a la latitud y longitud de la posición geográfica, si se obtienen en campo puede obtenerse con un GPS o bien mediante cartografía y apoyados del programa TMCalc se puede transformar; donde la coordenada “x” representa el este y la coordenada “y” el norte de dicha posición.

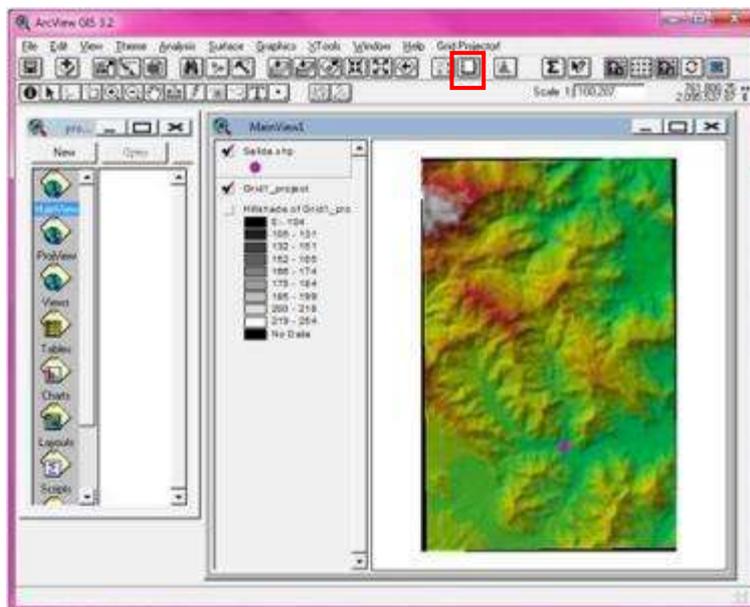


Una vez que se ingresaron las coordenadas exactas, se detiene la edición y pedirá guardar los cambios. Es importante mencionar que este punto se crea como un Shape.

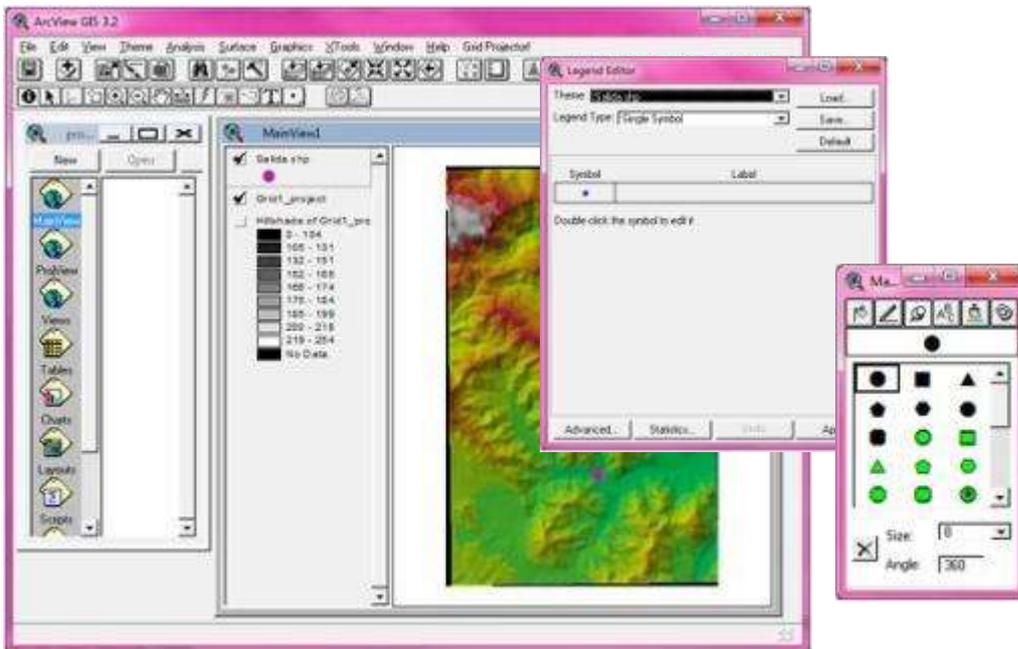




El color amarillo indica que el objeto quedó seleccionado previo o posterior a la edición, para deseleccionarlo correctamente se utiliza el ícono de **“Clear selected features”** (Borrar las funciones seleccionadas) y se observará que el color cambia. Recordar guardar el proyecto.



Al igual que los demás objetos dando doble clic en el nombre del Shape se pueden editar sus características (forma, color, tamaño, etc.) para una mejor visualización.

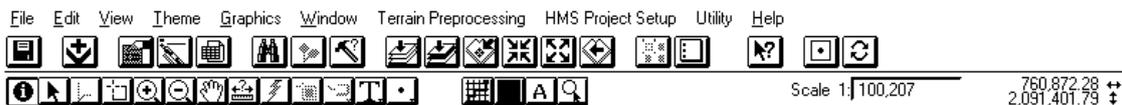


Resumiendo: hasta esta secuencia solamente se ha preparado la malla en su adecuada proyección, así como el (los) tema (s) que se desean observar junto con el desarrollo del estudio hidrológico (cuerpos de agua, ríos, carreteras etc.) y se definió el sitio de salida de la cuenca, a continuación se muestran los comandos que permiten delimitar la cuenca hidrológica y obtener sus características.

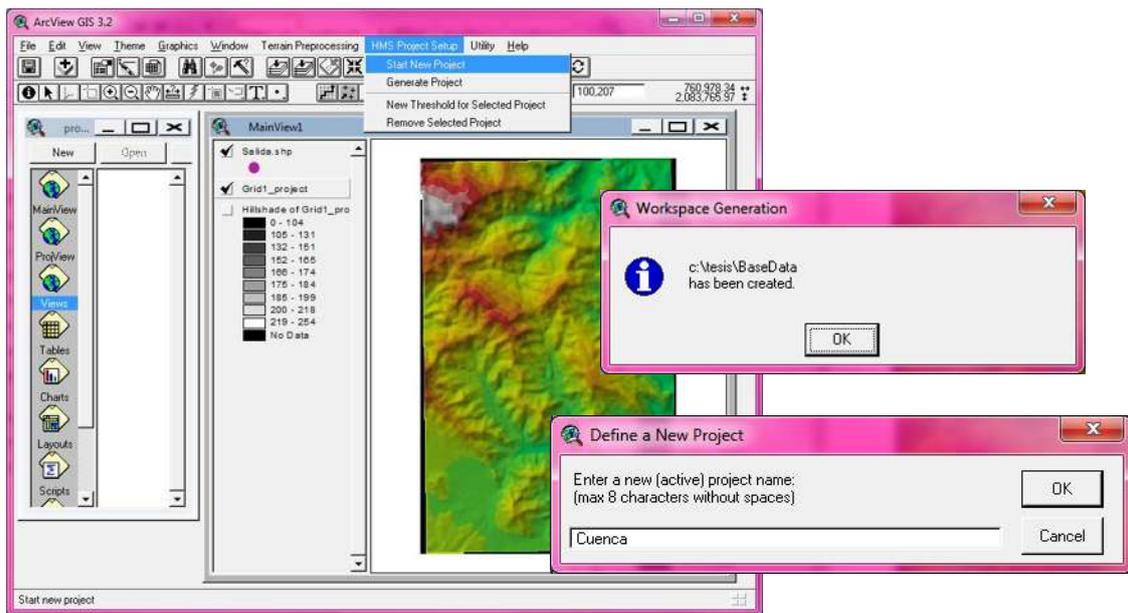
Todo lo anterior se ha trabajado con la siguiente barra de herramientas:



Ahora que se necesita la extensión HEC-GeoHMS se alterna la vista con el ícono de **“Toggle view interface”** (Activar interfaz de vista) y ahora se verá de la siguiente manera:

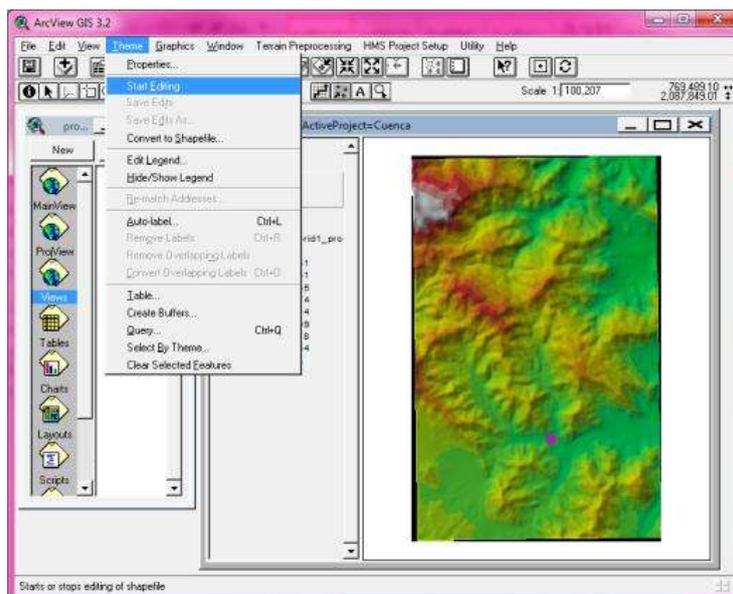


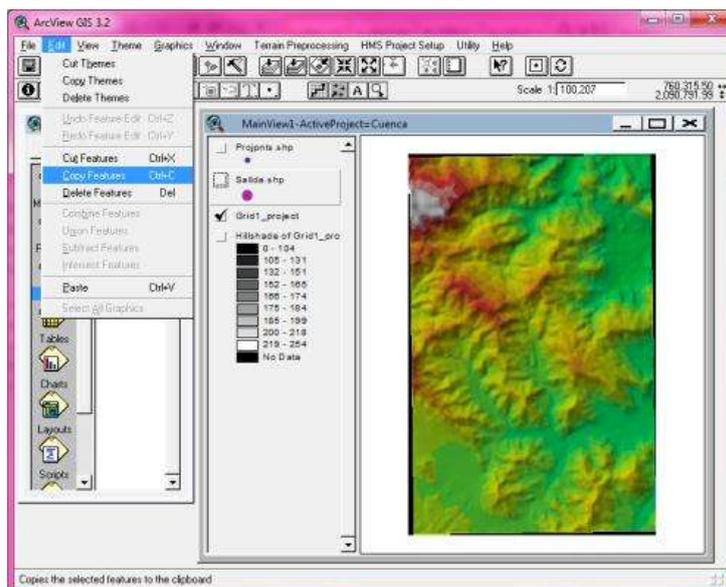
Al hacer uso de **“HMS Project Setup”** en la opción **“Start New Project”** (Comenzar nuevo Proyecto), el programa pide un nombre para el proyecto, y avisa de la creación de un directorio llamado BaseData que se guarda en la misma ubicación donde se encuentra guardado el proyecto de ArcView; por eso si no se encuentra guardado el proyecto, el programa pedirá guardar antes de proseguir; también creará un nuevo tema en la vista llamado **“Projnts.shp”** (Puntos de proyecto).



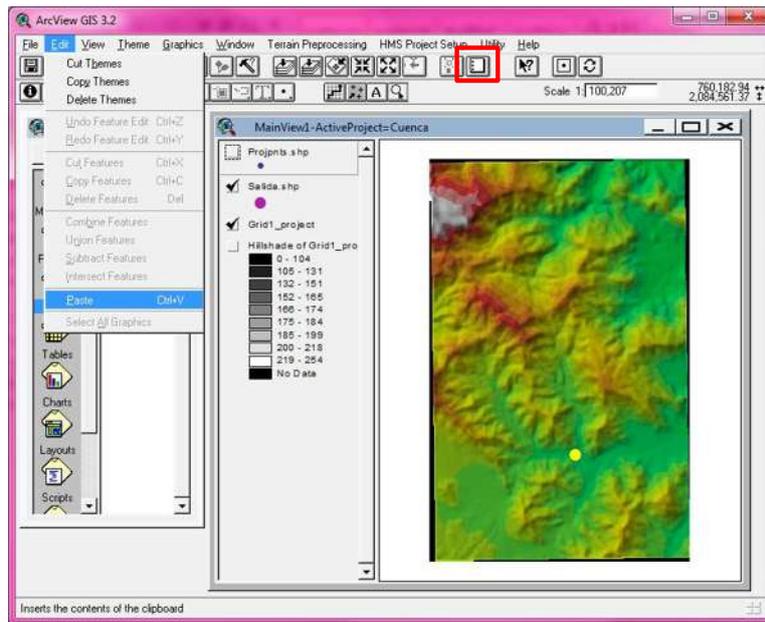
Al utilizar la extensión HEC-GeoHMS, la cual funciona como si fuese una capa sobre la cual se trabajara la parte hidrológica, requiere de un punto a partir del cual pueda aplicar las herramientas hidrológicas. Esto se hará creando una copia del punto de salida de la cuenca indicado anteriormente al nuevo shape que se llamará "Projpnnts.shp".

Se selecciona la salida de la cuenca y se da clic en "**Theme**" "**Star editing**" con el cursor del modo "**Pointer**" se selecciona el punto de salida de la cuenca y en seguida en el menú "**Edit**", se copia el shape con la opción "**Copy features**" (*Copiar características*), ahora se detiene la edición en "**Stop editing**" al hacerlo se deberán guardar los cambios; ahora se selecciona el nuevo punto de salida, es decir "Projpnnts.shp" para el ejemplo y se sigue el mismo procedimiento con la diferencia de usar la opción "**Paste**" (*Pegar*) en lugar de "**Copy features**".





Recordar que los puntos quedarán seleccionados y se verán amarillos para deseccionarlos se debe utilizar el icono **“Clear selected features”**.

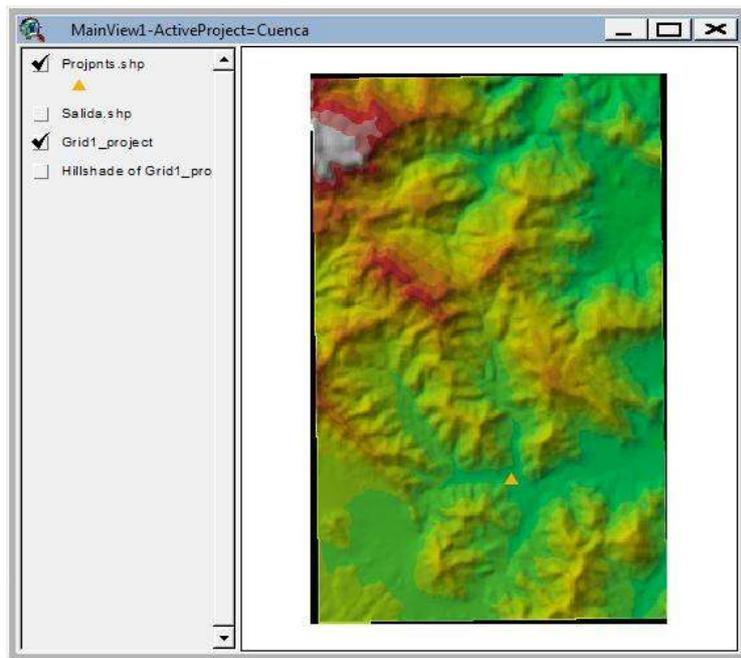


Al final es recomendable guardar el proyecto.

Para realizar los siguientes pasos se deberá mantener activo el modo de HEC-GeoHMS, es decir se debe activar la extensión (**Consultar el apartado 4.3.1.3 página 20**) en caso de no haberla activado al inicio del proyecto, para tener visible el menú **“Terrain Preprocessing”** (*Procesamiento del terreno*) y los diferentes comandos los cuales se aplicarán conforme la siguiente secuencia.

Es recomendable guardar el proyecto después de cada paso porque en ocasiones puede generar errores repentinos que cierran ArcView sin previo aviso, en lo particular al insertar el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y convertirlo a una malla la información se halla ubicado en la zona visualizada de la pantalla y al georeferenciar y crear la nueva malla se sitúa en una zona distinta, con ello existe un gran espacio entre ambas mallas (la original y la referenciada) por lo cual el programa puede invertir mucho tiempo en realizar el análisis de la información, si al intentar por primera ocasión la secuencia a continuación descrita y no se ejecuta el trabajo realizado, se puede intentar lo siguiente:

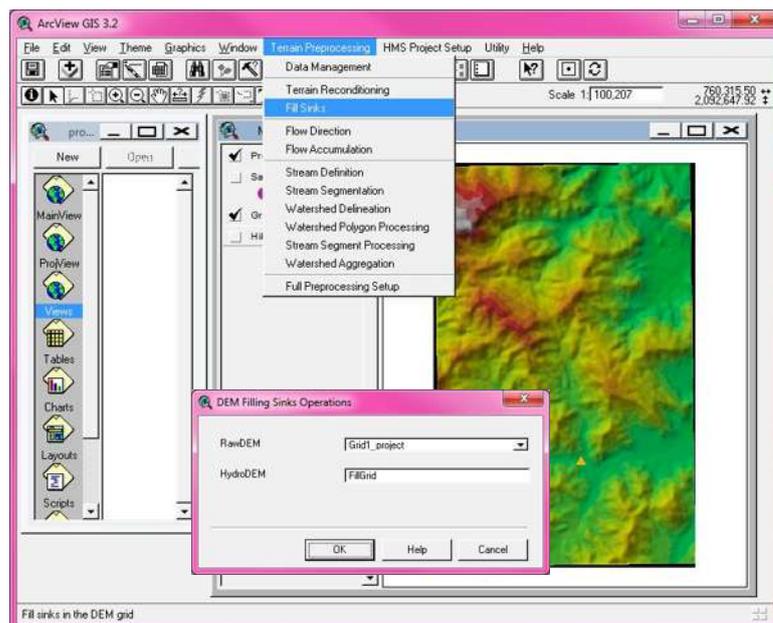
Guardar el proyecto con otro nombre y en este nuevo borrar los temas del MDE descargado de INEGI e insertado en el programa así como la malla original creada a partir del MDE, para que el programa solo se centre sobre la malla georeferenciada, una vez hecho esto se procede como se muestra a continuación:



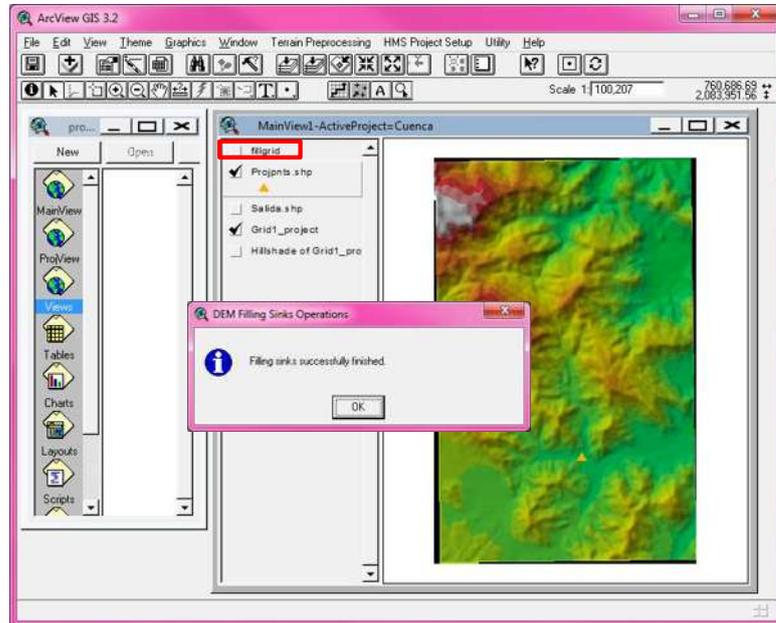
La siguiente secuencia permite preparar los datos de la malla para analizarlos y calcular características importantes de la cuenca, por ejemplo, los números de escurrimiento y poder llegar así al gasto de diseño sin que exista problemas de lectura de la información presentada en el MDE.

1. **Fill Sinks** (Malla generada para rellenar las zonas bajas donde de acuerdo con la información que tenga la malla proyectada el agua no podría fluir, es decir detecta los posibles encharcamientos sobre el terreno natural).

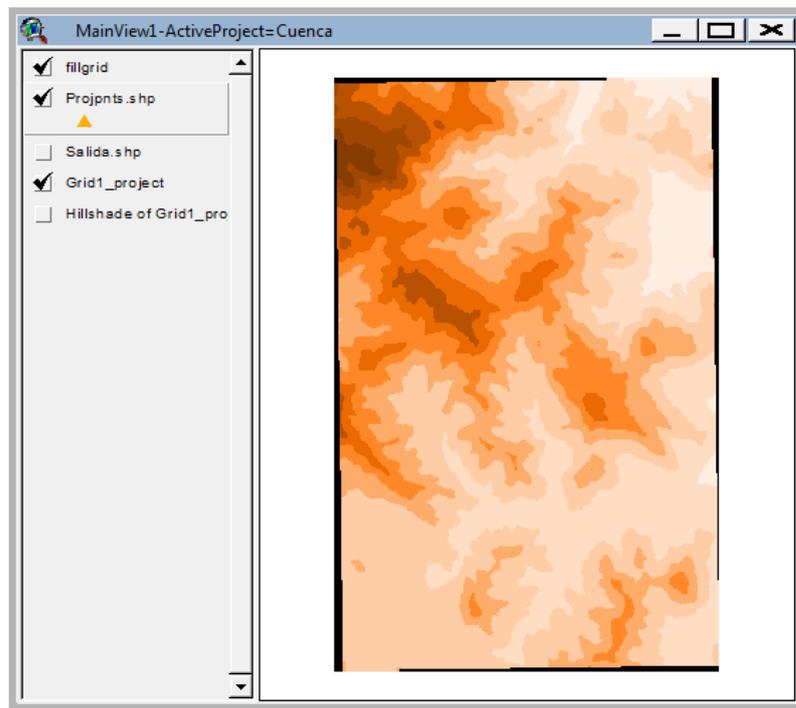
Para aplicar este comando en el menú **“Terrain Preprocessing”** (*Procesamiento del terreno*) se selecciona **“Fill sinks”** (*Rellenar sumideros*) y en la ventana desplegada se da **“OK”**



Al terminar el proceso como se aprecia en la siguiente imagen se creará una nueva malla, llamada Fillgrid, ya que la idea de esta opción es precisamente “rellenar” o suavizar las zonas de encharcamiento.

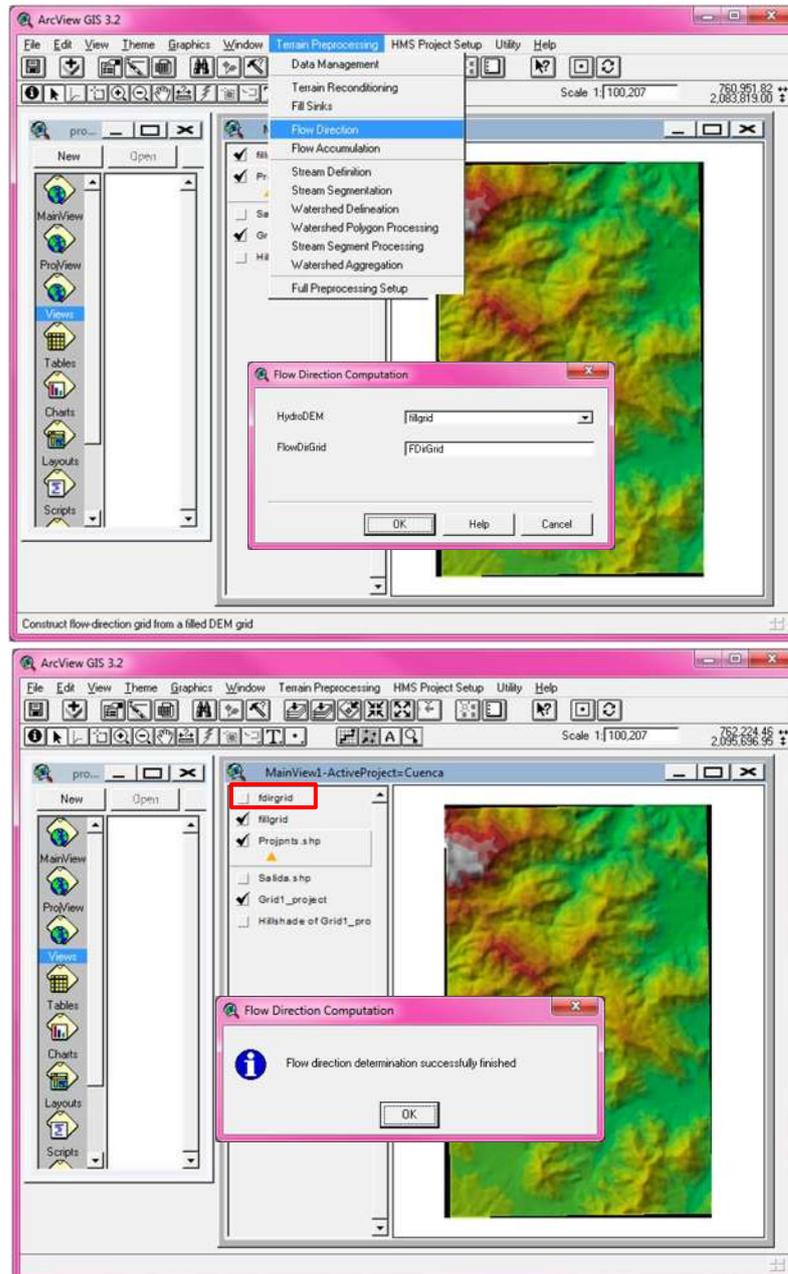


Si se activa la nueva malla, se ve como modifica la malla original, respecto de la rellenada.

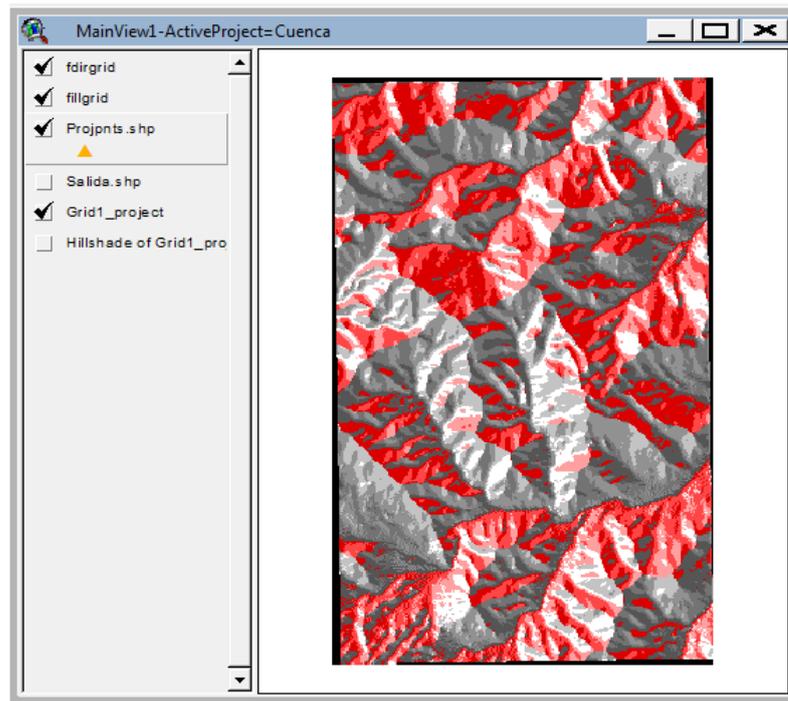


- 2. Flow Direction** (Malla que permite generar a partir de las elevaciones del modelo digital, las direcciones hacia donde escurre el flujo, con el fin de identificar el parteaguas una vez suavizada la malla original).

Para aplicar este comando en el menú “**Terrain Preprocessing**” se selecciona “**Flow direction**” (*Dirección del flujo*) y en la ventana desplegada “**Flow Direction Computation**” (*Cálculo de direcciones de flujo*) se debe confirmar que la malla *Fillgrid* generada en el paso previo esté seleccionada en la opción *HydroDEM* y al terminar el proceso creará la malla *FDirGrid* como se observa en la ventana desplegable *FlowDirGrid*; es recomendable mantener los nombres que por default genera el programa para evitar errores en el proceso de cálculo o bien tener un control externo del nombre generado por el programa respecto del nombre asignado por el usuario.

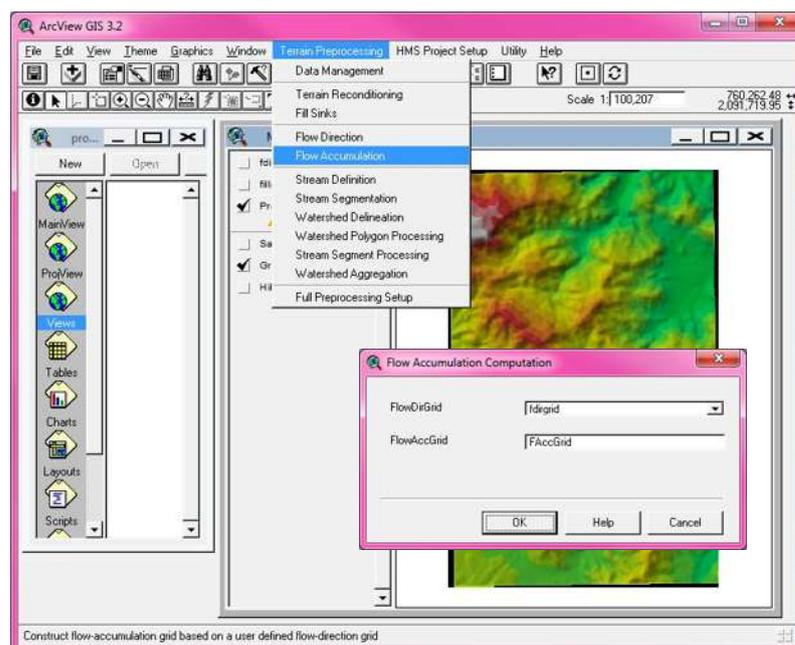


Al realizar la operación de manera inmediata se integrará la malla de direcciones de flujo dentro del proyecto, al activarlo se distinguirá en un color diferente las direcciones dominantes del flujo dentro de la zona de estudio como se observa en la imagen.

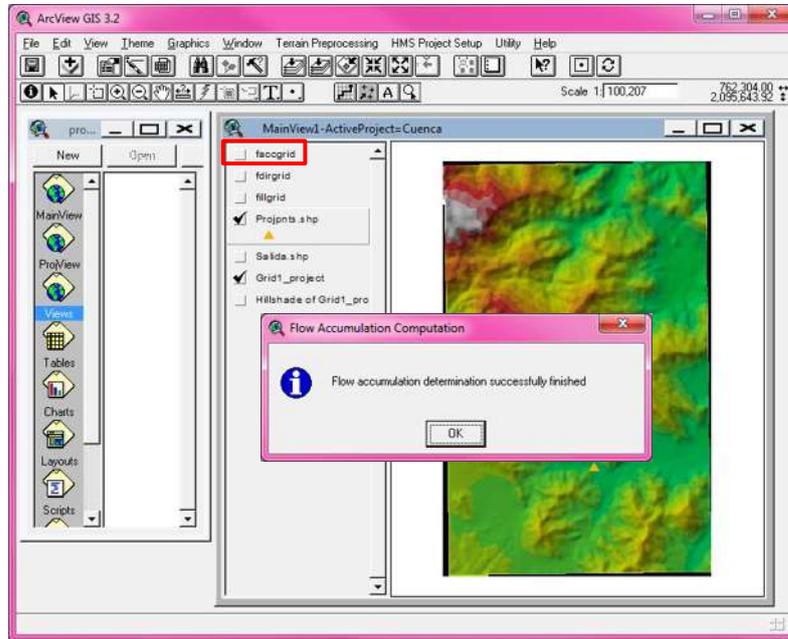


- 3. Flow Accumulation** (Malla donde se une el flujo de las celdas identificando como se acumulan en el transcurso de la longitud de la cuenca a partir de la pendiente del terreno, ubicando la red natural de drenaje).

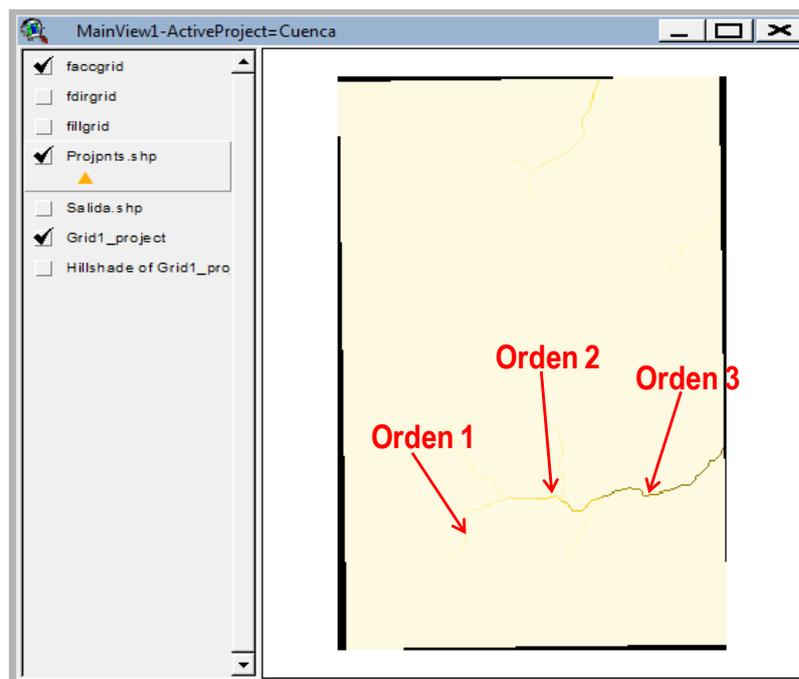
Para aplicar este comando nuevamente en el menú “**Terrain Preprocessing**” se selecciona “**Flow accumulation**” (*Acumulación del flujo*) y en la ventana desplegada “**Flow Direction Computation**” se debe confirmar que la malla *fdirgrid* generada en el paso previo esté seleccionada en la opción *FlowDirGrid*.



Al terminar el proceso creará la malla *FAccGrid* como se observa en la ventana desplegable *FlowAccGrid*, es conveniente seguir manteniendo los nombres que por default genera el programa.

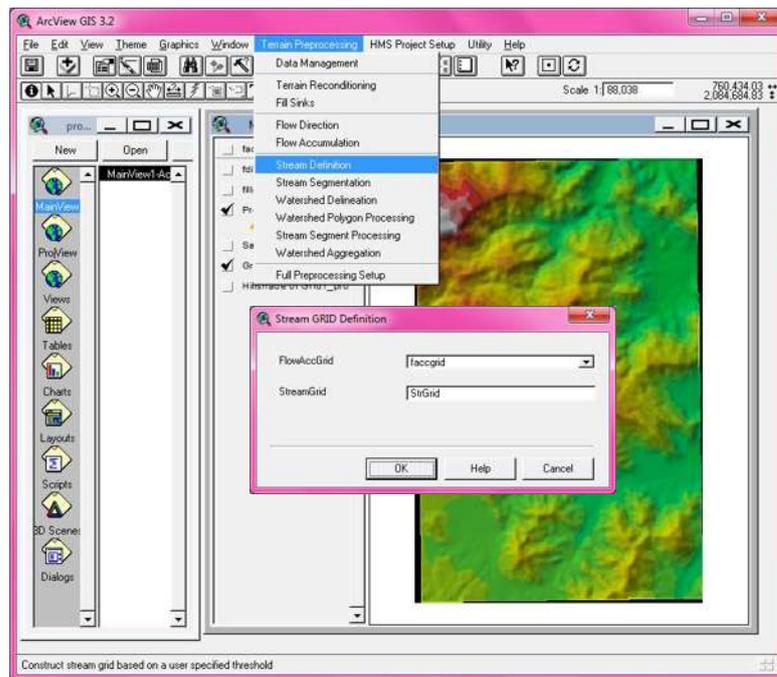


Al realizar la operación de manera inmediata se integrará la malla de acumulación de flujo dentro del proyecto, al activarlo se distinguirá en un color café tenue los cauces de orden 1, e irá incrementando en tono de café el cauce conforme cambie de orden, es decir, el color será más intenso en función de la cantidad de flujo que pueda conducir el caudal conforme recorre la cuenca, como se observa en la imagen, las direcciones dominantes del flujo dentro de la zona de estudio. El programa no asigna numeración del orden de corriente, para comprensión del lector se colocaron las flechas y textos en color rojo.

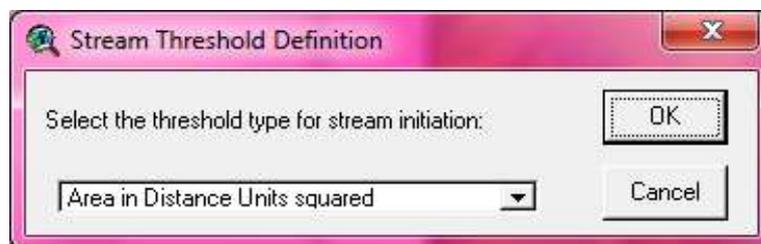


4. **Stream Definition** (Malla en donde se define el paso de los ríos, se genera a partir de un área designada por el programa, que será el 10 % del área de la malla utilizada).

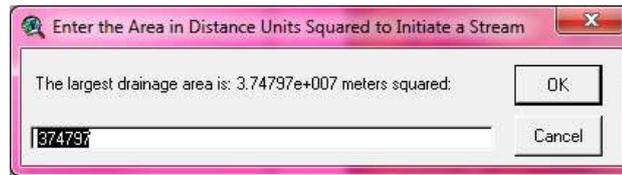
Para aplicar este comando nuevamente en el menú “**Terrain Preprocessing**” se selecciona “**Stream Definition**” (*Definición de la corriente*) y en la ventana desplegada “**Stream Grid Definition**” (*Definición Red de Drenaje*) se debe confirmar que la malla *FAccGrid* generada en el paso previo esté seleccionada en la opción *FlowAccGrid*.



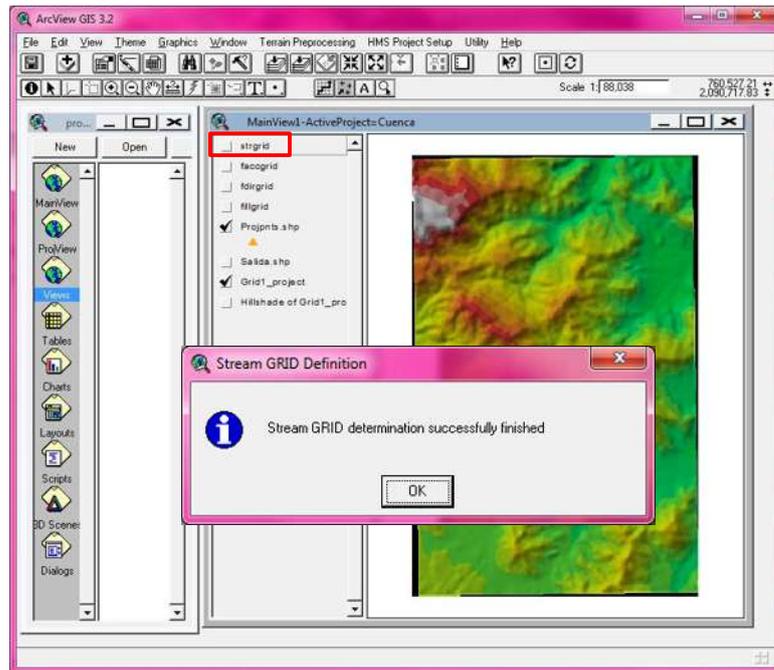
Adicionalmente esta operación requiere seleccionar una de las opciones disponibles en la ventana “**Stream Threshold Definition**” (*Definición del origen de corrientes*), aunque existen varios métodos para definir como se inicia un río se recomienda continuar con la opción “Area in Distance Units Squared” (*Distancia por unidad cuadrada de área*) que indica que el río se forma a partir de cierta área que acumula agua hasta que el escurrimiento se puede considerar un río. Es decir a partir de la acumulación del flujo a lo largo del cauce principal.



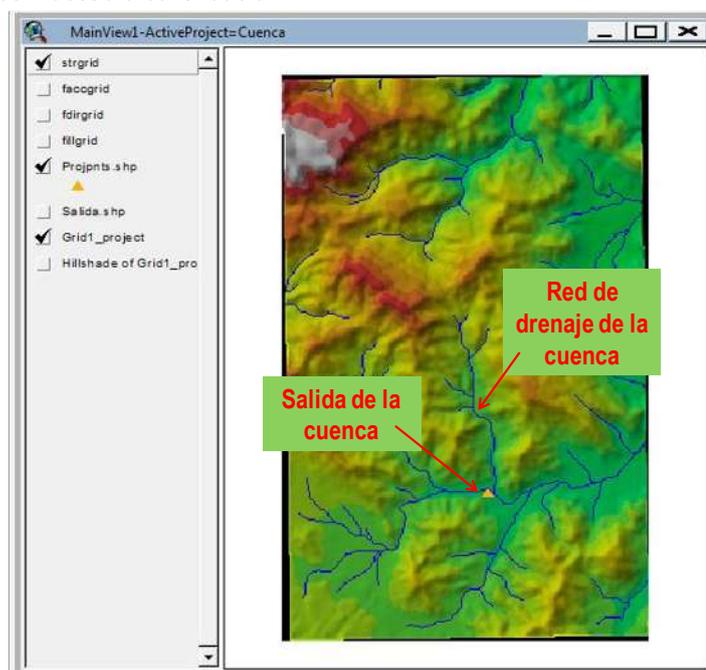
En seguida aparece otra ventana “**Enter the area in distance units squared to initiate a stream definition**” (*Entrar el área en unidades de distancia al cuadrado para iniciar una definición de la corriente*) es decir, es el área mínima requerida para que se forme un río, lo predeterminado es 1% del tamaño de la malla y se recomienda dejar esa opción.



Al terminar el proceso creara la malla *StrGrid*, es conveniente seguir manteniendo los nombres que por default genera el programa.



Al realizar la operación de manera inmediata se integrara la malla de la red de flujo dentro del proyecto, al activarlo se distinguirá en un color azul la red de drenaje existente dentro de la cuenca, como se muestra a continuación.

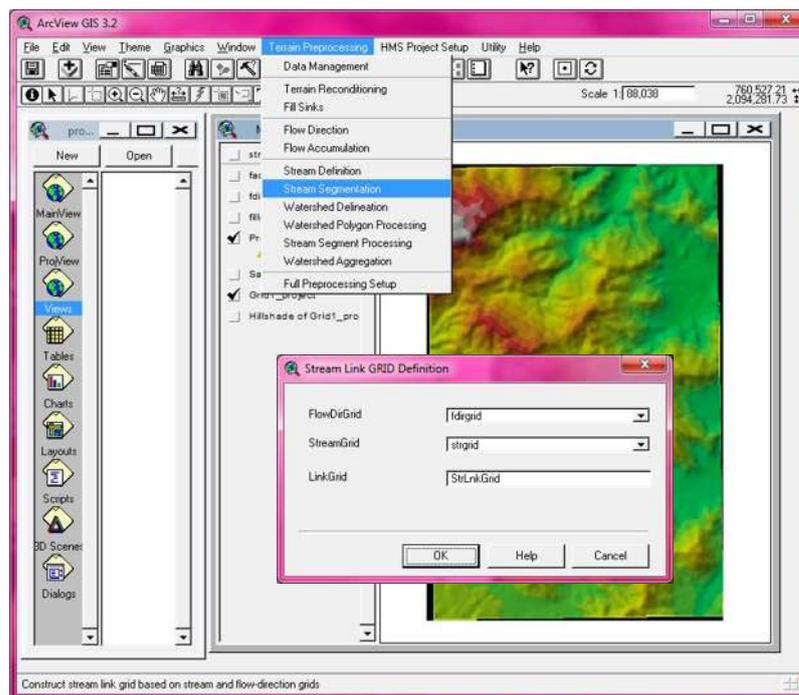


Comentario

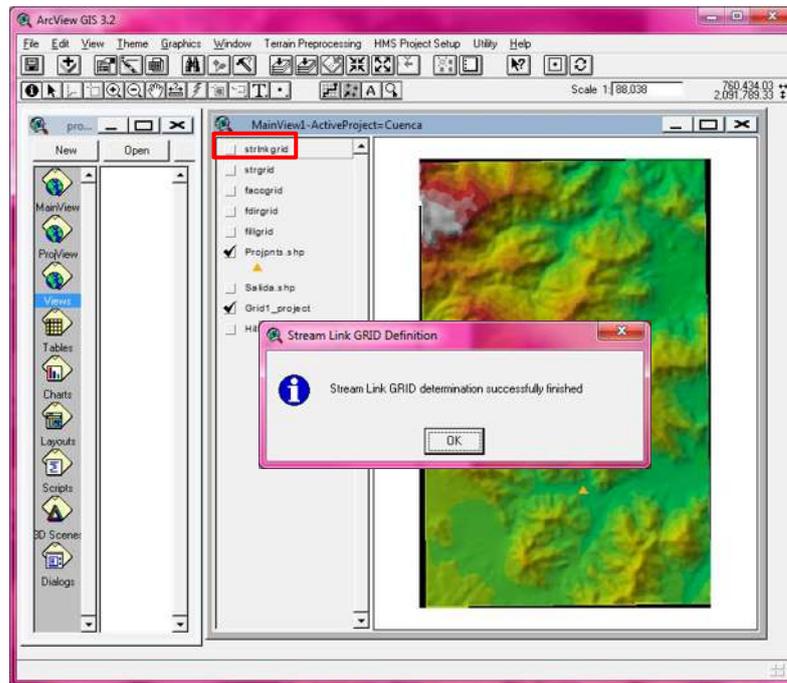
Se puede observar en la imagen que la salida de la cuenca puede estar no ubicada de manera adecuada (marca en naranja, consultar páginas 48,49 y 50), ya que se esta intersectando el caudal de una cuenca contigua, esto sucede debido a la precisión con que haya sido ubicada en la cartografía o bien en campo con un GPS, además depende de manera importante de la calidad de la información que constituye del MDE con el que se ha estado realizando el trabajo, ya de manera más clara con la red de drenaje podemos hacer la ubicación correcto del sitio de salida del proyecto con la finalidad de garantizar una mejor definición del parteaguas y por ende de la cuenca en estudio.

5. **Stream segmentation** (Malla donde se dividen las corrientes en segmentos, los cuales son tramos de cauces situados entre dos uniones de cauces sucesivos, una unión y la salida o una unión y el límite de la cuenca).

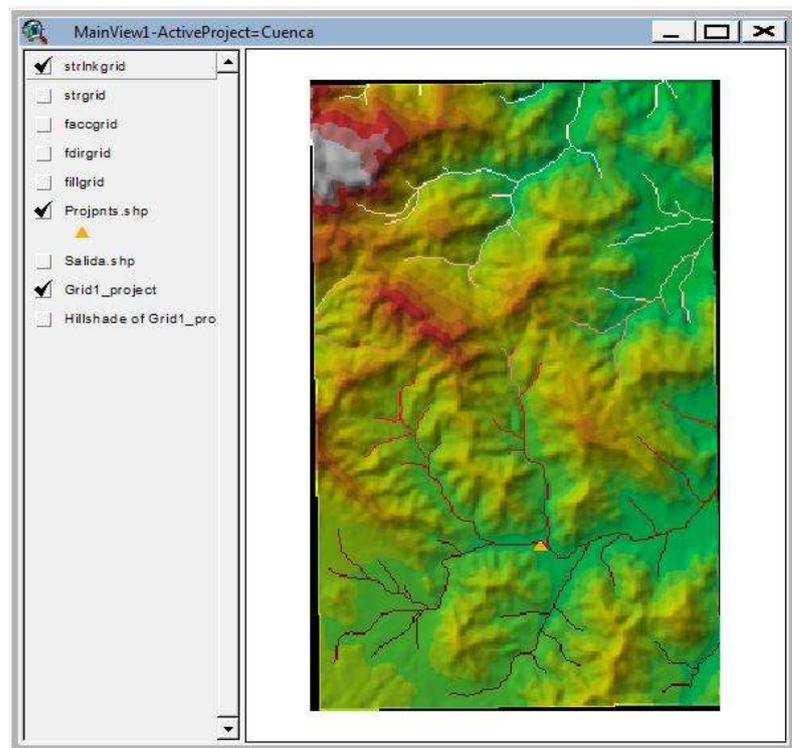
Para aplicar este comando en el menú “**Terrain Preprocessing**” se selecciona “**Stream Segmentation**” (*Segmentación de la corriente*) y en la ventana desplegada “**Stream Link GRID Definition**” (*Definición de la relación de flujo*) se debe confirmar que la mallas generadas previamente estén en la casilla correspondiente, es decir la malla *fdirgrid* en *FlowDirGrid* y la malla *strgrid* en *StreamGrid*.



Al terminar el proceso creara la malla *StrLnkGrid*, es conveniente seguir manteniendo los nombres que por default genera el programa.

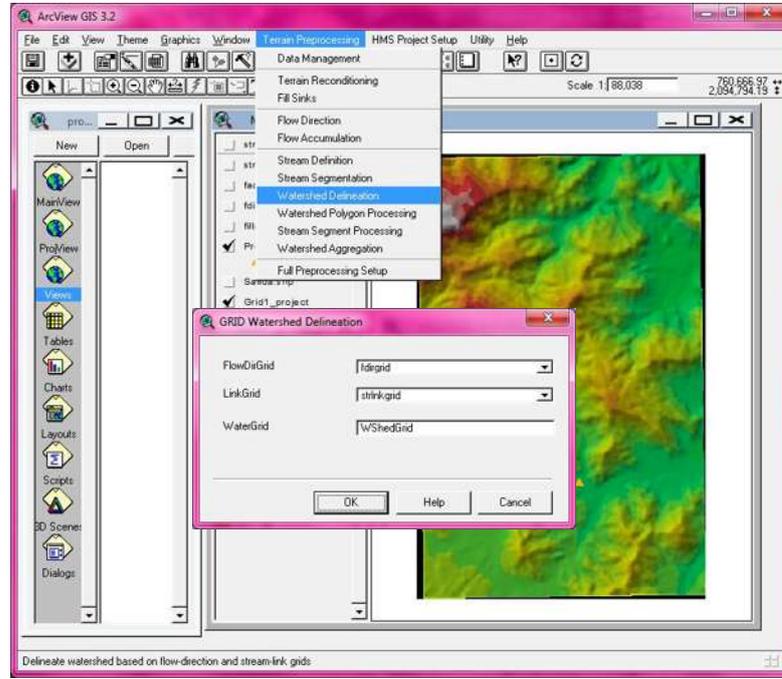


Al realizar la operación de manera inmediata se integrara la malla de la segmentación de los cauces, al activarla se distinguen los segmentos en tonalidades de rojo, como se muestra a continuación.

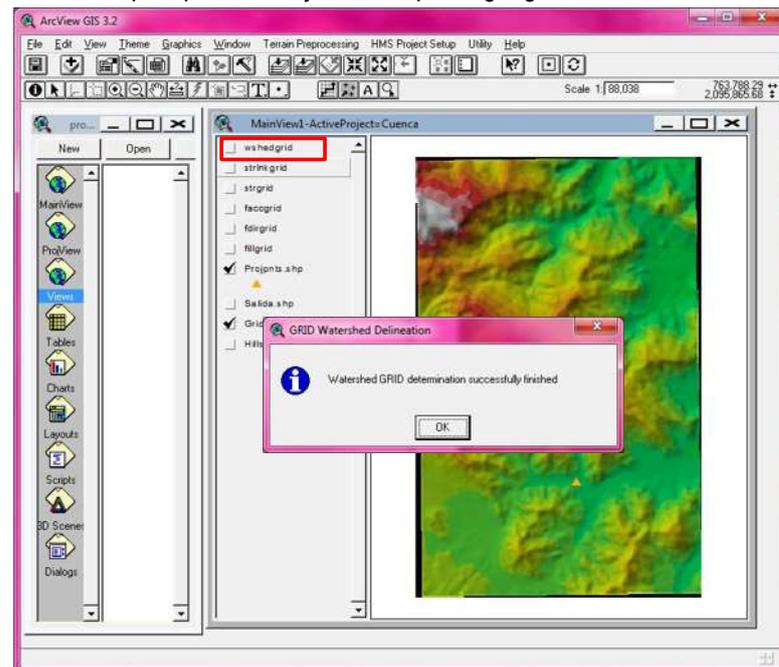


- 6. Watershed Delineation** (Malla que da las áreas de aportación de cada río, en un aspecto parecido a micro-cuencas).

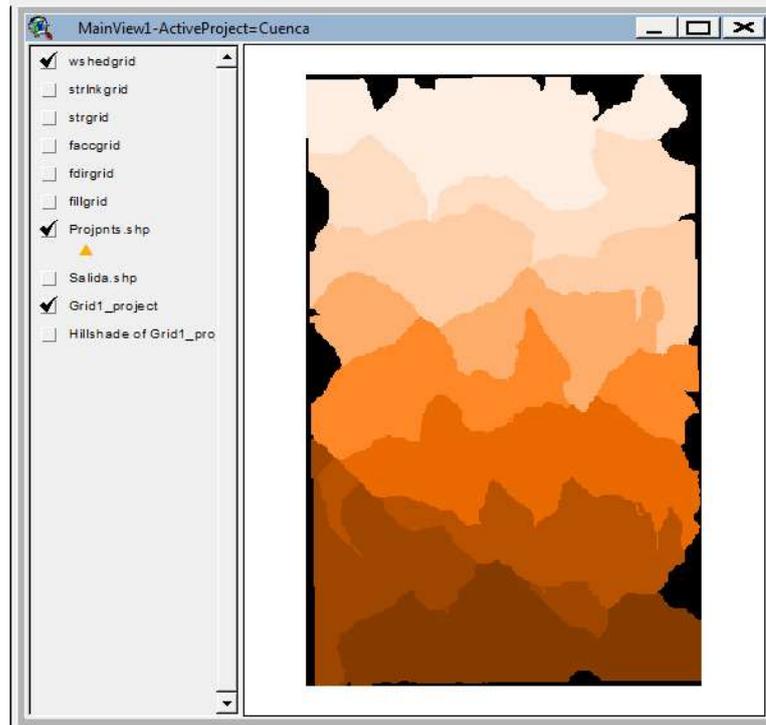
Para aplicar este comando en el menú “Terrain Preprocessing” se selecciona “Watershed Delineation” (*Delineación de la cuenca*) y en la ventana desplegada “Grid Watershed Delineation” (*Malla de delineación de la cuenca*) se debe confirmar que las mallas *fdirgrid* y *strgrid* generadas en los pasos previos estén seleccionadas en las opciones *FlowDirGrid* y *LinkGrid* respectivamente.



Al terminar el proceso creara la malla *WShedGrid*, es conveniente seguir manteniendo los nombres que por default genera el programa. En este caso el comando combinara la posible dirección que tomara el flujo sobre el terreno y su transporte sobre la red de drenaje para poder delimitar las cuencas de aportación hacia el cauce principal y de ahí poder al ubicar la salida de la cuenca delimitar las que aportaran flujo a dicho punto geográfico.

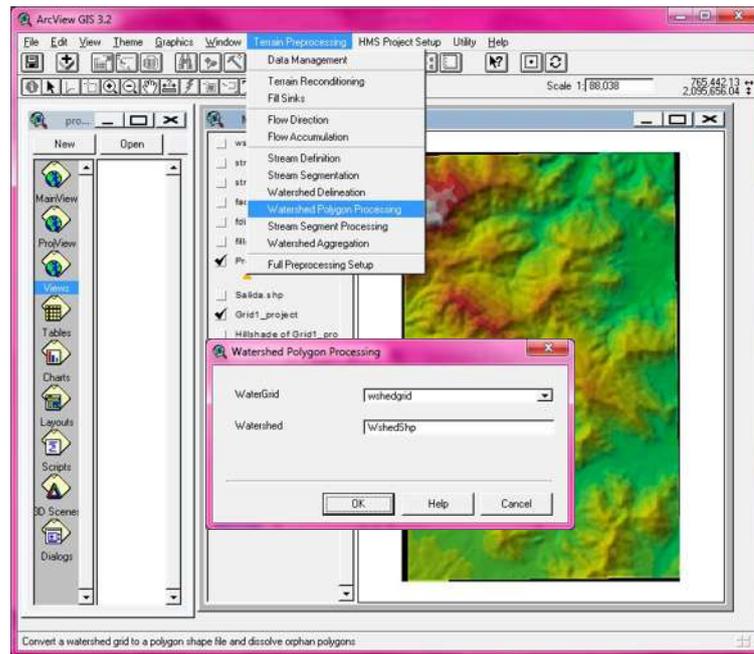


Al realizar la operación de manera inmediata se integrará la malla de la cuenca delimitada dentro del proyecto, al activarlo se distinguirá en distintas tonalidades de color naranja cada cuenca por segmento de cauce esto queda dentro de la cuenca en la red de drenaje del MDE mostrado en la pantalla y en color negro lo que queda fuera de la misma. Conforme aumenta la tonalidad la microcuenca estará acumulando mayor cantidad de flujo indicando la transferencia desde la parte alta de la cuenca hasta la salida de la misma.

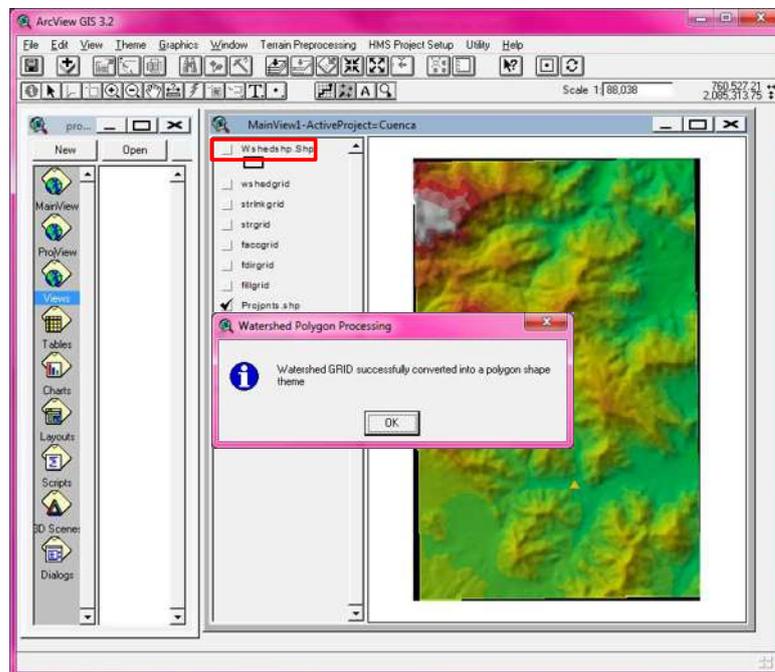


7. Watershed Polygon Processing (Shape generado para la obtención del mapa de cuencas a partir de la forma de acumulación de flujo acorde con las características topográficas de la cuenca).

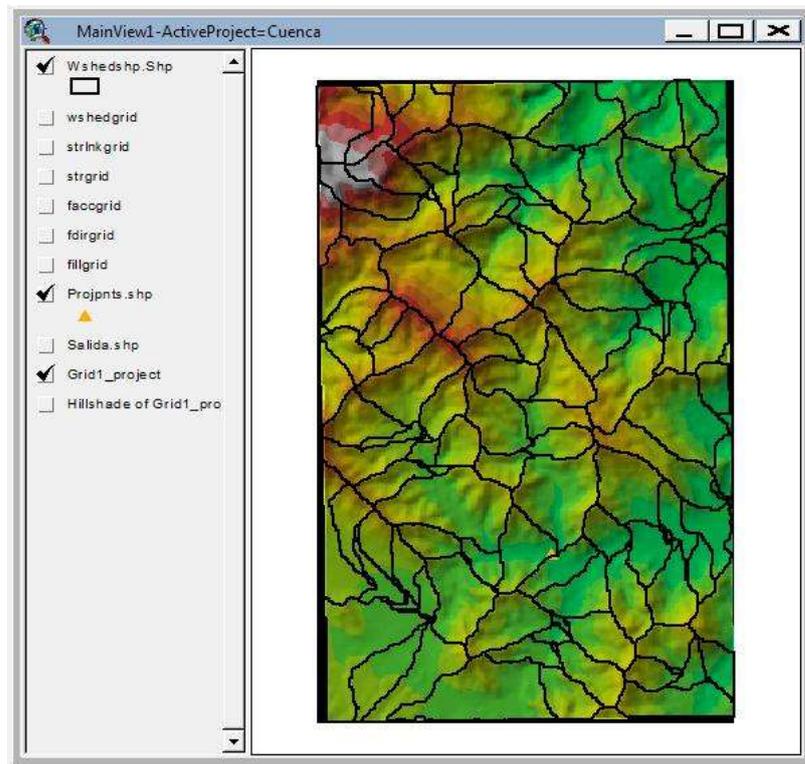
Para aplicar este comando en el menú **"Terrain Preprocessing"** se selecciona **"Watershed Polygon Processing"** (*Procesamiento de polígonos de la cuenca*) y en la ventana desplegada **"Watershed Polygon Processing"** se debe confirmar que la malla *wshedgrid* generada en el paso previo esté seleccionada en la casilla *WaterGrid*.



Al terminar el proceso creará el Shape *WShedShp* es conveniente seguir manteniendo los nombres que por default genera el programa.

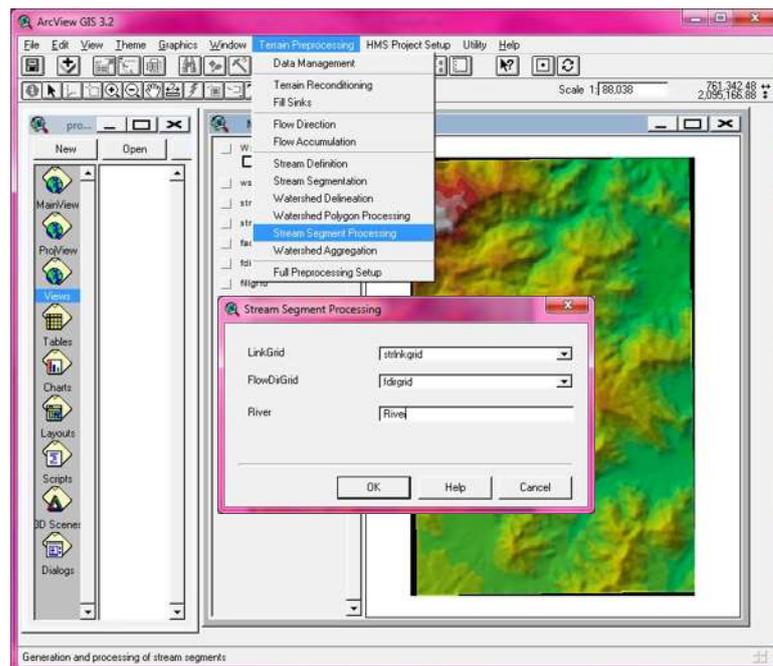


Al realizar la operación de manera inmediata se integrará el shape de la poligonal de las microcuencas delimitada dentro del proyecto, al activarlo se distinguirá en un color negro el mapa de microcuencas.

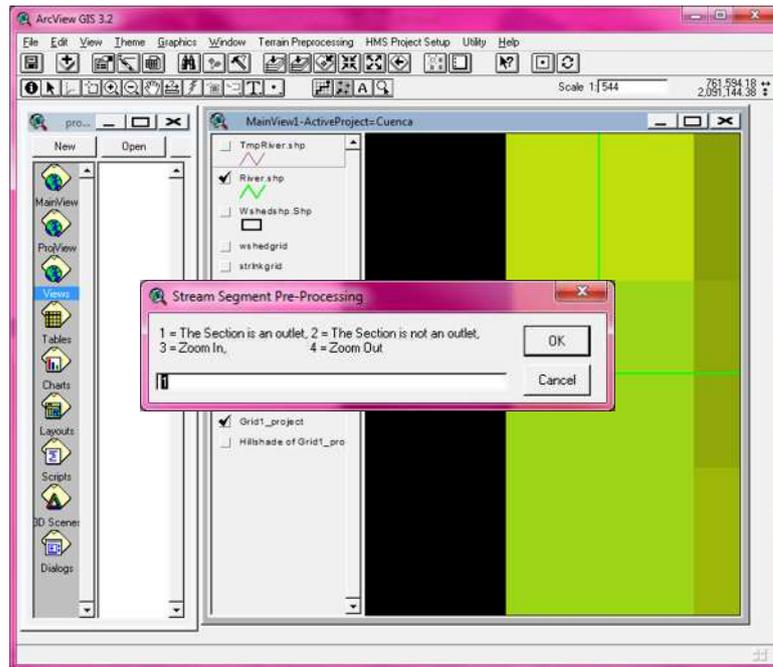


8. Stream Segment Processing (Convierte el cauce de formato "Grid" a formato vectorial).

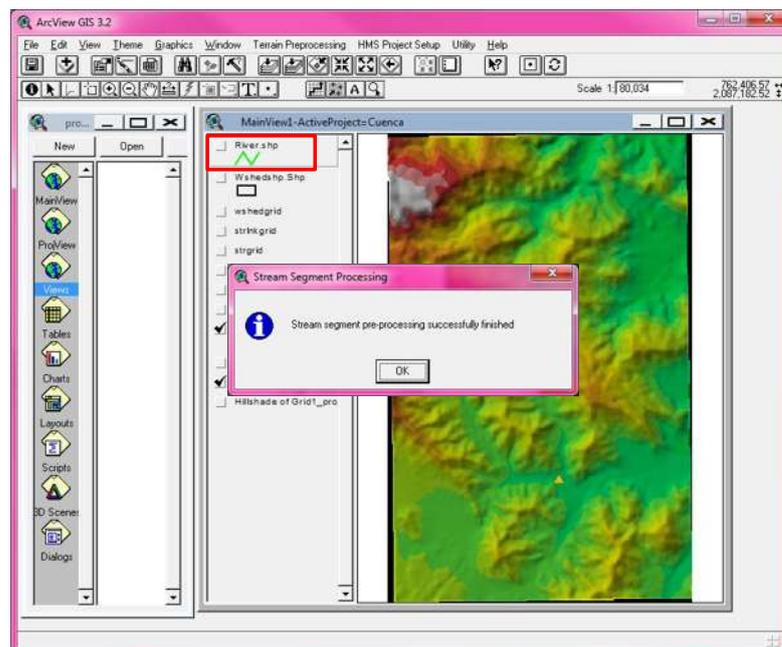
Para aplicar este comando en el menú "Terrain Preprocessing" se selecciona "Stream Segment Processing" (*Procesamiento de los segmentos de los cauces*) y en la ventana desplegada "Stream Segment Processing" se debe confirmar que las mallas *strlnkgrid* y *fdirgrid* generadas en pasos previos estén seleccionadas en las opciones *LinkGrid* y *FlowDirGrid* respectivamente.



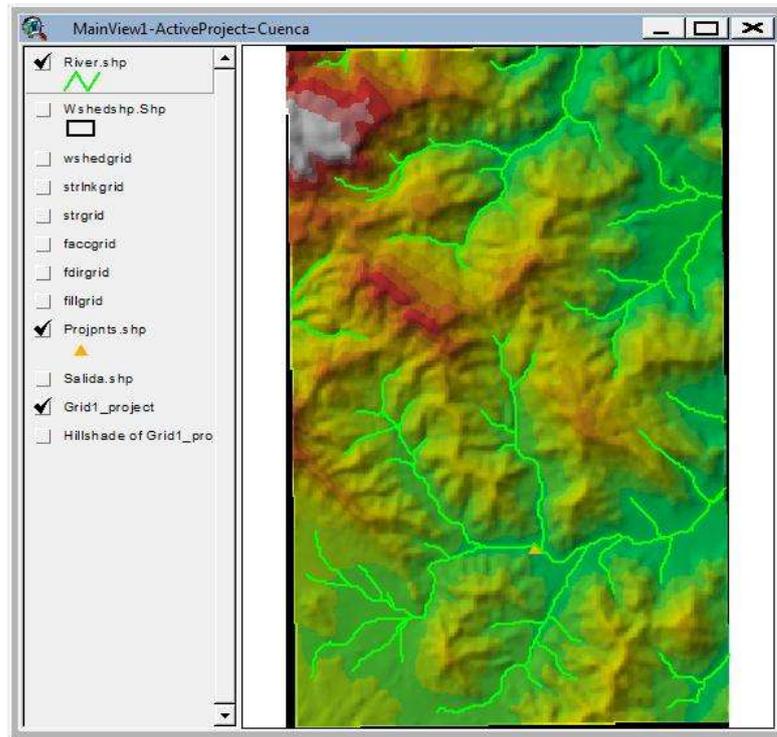
En seguida aparece una ventana **“Stream Segment Pre-Processing”** (*Pre-procesamiento de los segmentos de los cauces*). Esto es porque en ocasiones el programa encuentra tramos de río cortados y con esta ventana pregunta si el río “sale” o “entra” de la malla, se responde con las siguientes opciones: **1 - Sale**, **2 – Entra** y **3 y 4 – Zoom**. En caso de no tener certeza se recomienda el **1** así el programa definirá la cuenca vertiente a cada salida y después podamos editar las cuencas y subcuencas de interés. Dicha ventana puede salir ninguna, una o muchas veces.



Este proceso puede tardar un poco más que los realizados anteriormente debido a que hará una lectura de toda la información. Al terminar el proceso creará el shape *River* es conveniente seguir manteniendo los nombres que por default genera el programa.

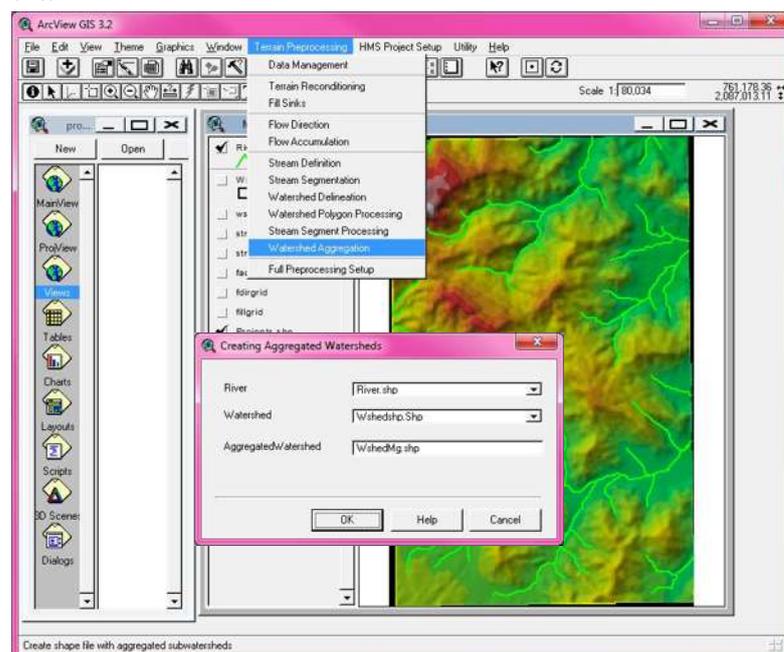


Al activar el shape se muestran los segmentos del cauce convertidos a formato vectorial de la siguiente manera.

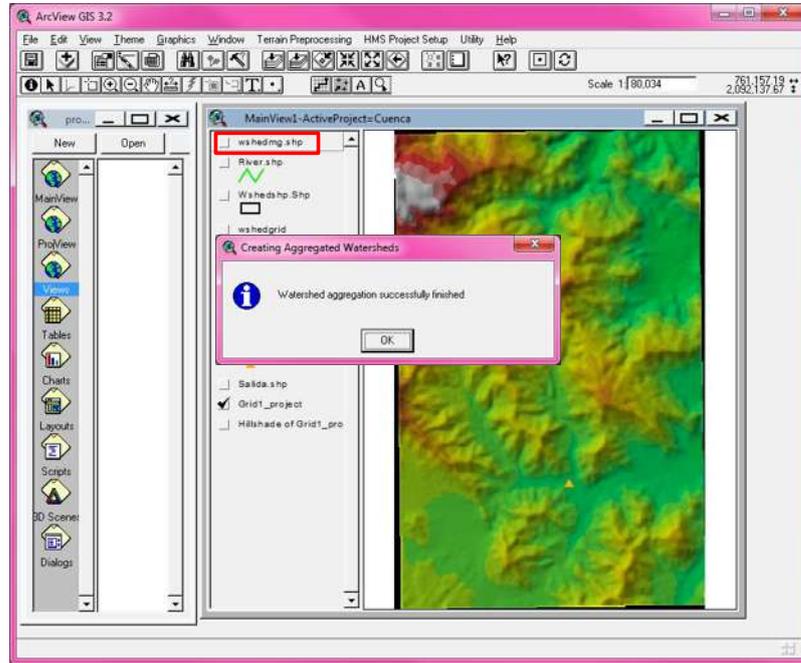


9. Watershed Aggregation (Shape que une subcuencas en la intersección de los cauces).

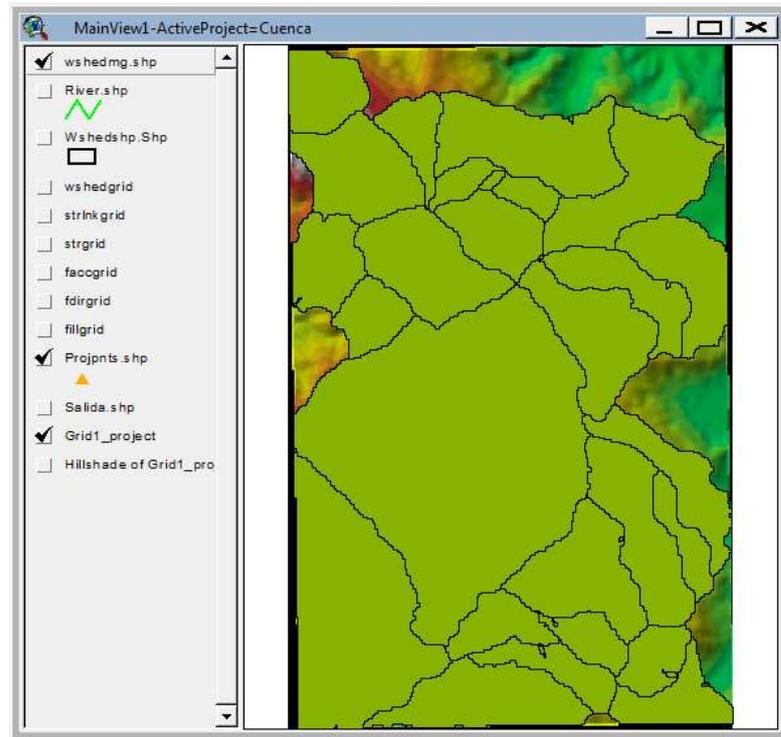
Para aplicar este comando en el menú “**Terrain Preprocessing**” se selecciona “**Watershed Aggregation**” (Agregación de cuencas) y en la ventana desplegada “**Creating Aggregated Watersheds**” (Creación de las cuencas agregadas) se debe confirmar que los shapes *River* y *Wshedshp* generadas en pasos previos estén seleccionadas en las opciones *River* y *Watershed* respectivamente.



El proceso puede ser un poco tardado. Al finalizar el proceso de creará el shape *wshedmg*.



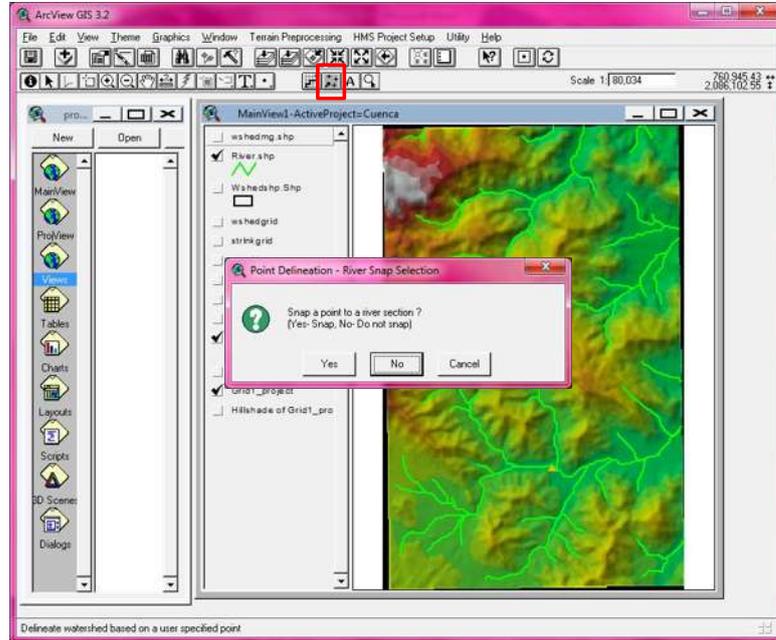
Al activar el shape se observarán las cuencas agregadas.



10. Delimitación de la cuenca

Para realizar este paso se utiliza en icono **“Delineate on a point”** (*Delimitar a partir de un punto*). Inmediatamente aparecerá una ventana **“Point Delineation-River Snap Selection”**

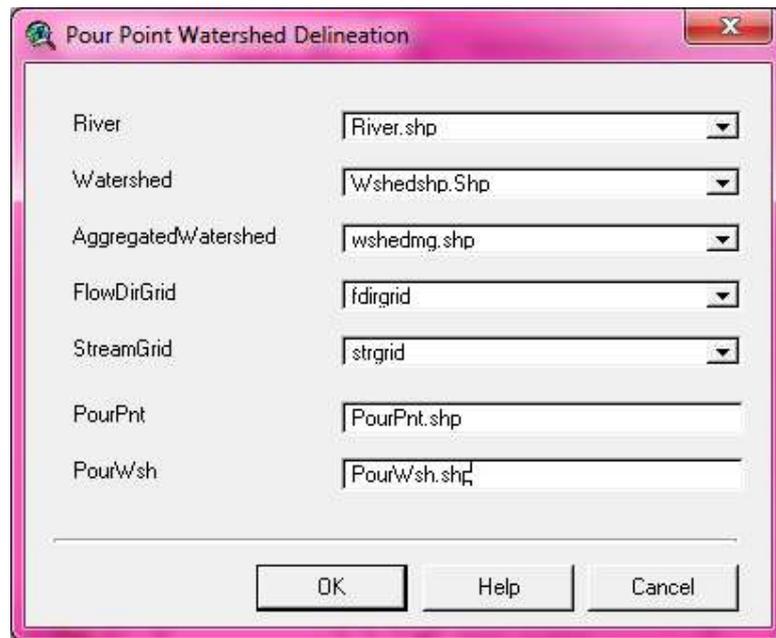
(Punto de delineación-Selección automática del río) donde la extensión HEC-GeoHMS pregunta si define la cuenca adhiriéndose a un río, se da clic en la opción “Yes” esto para que tenga mayor precisión ya que el punto de salida de nuestro proyecto puede no coincidir con exactitud.



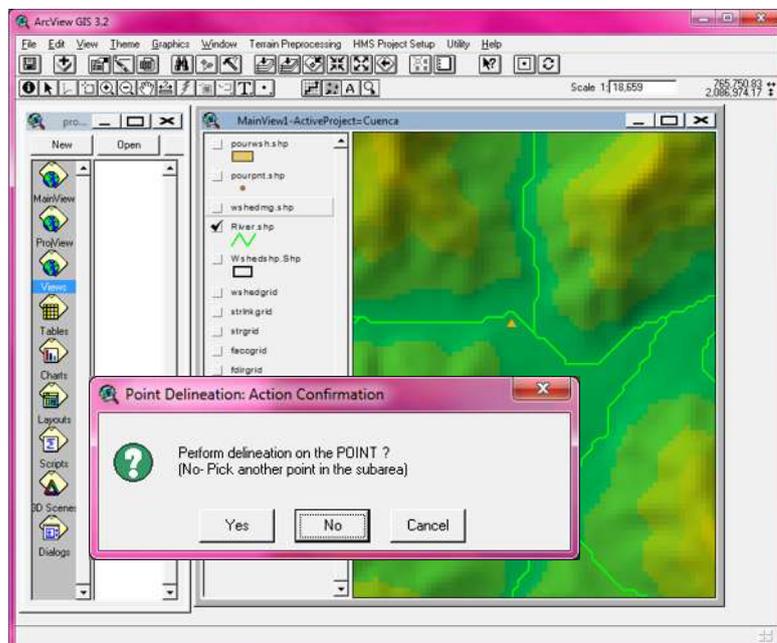
Mientras más preciso sea seleccionado el sitio de salida más precisa será la delimitación hecha en el programa de lo contrario puede haber mucho error entre las características calculadas con este proceso y las características reales.



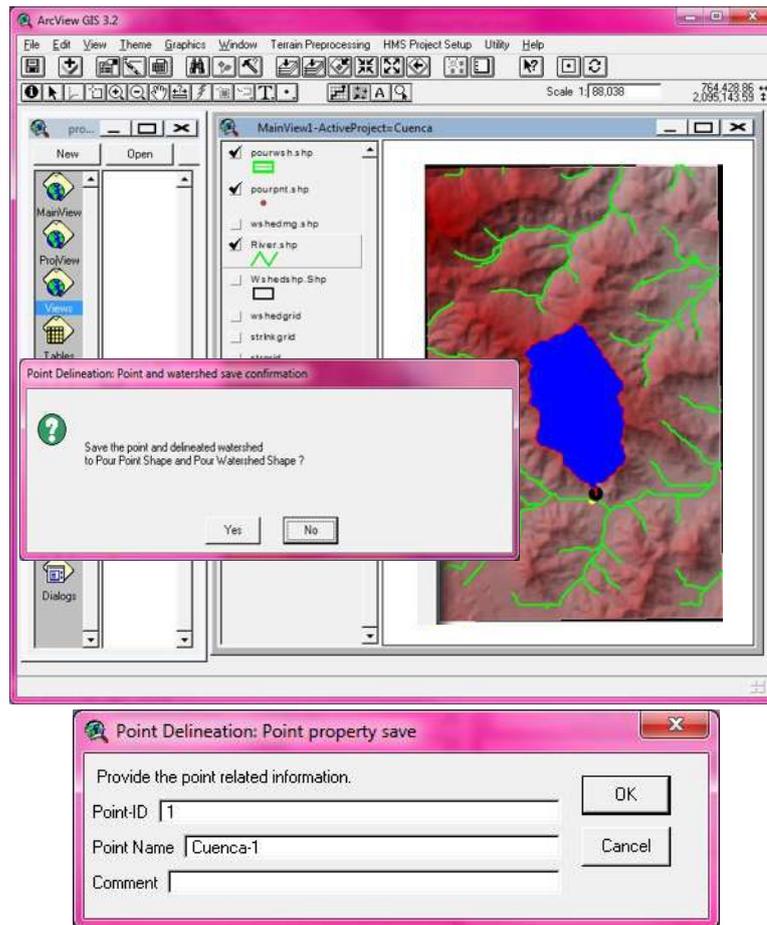
Después de dar clic en “Yes” seleccionamos el punto de salida de la cuenca (El triángulo color naranja). Con esto emergerá la ventana “Pour Point Watershed Delineation” (Punto de fluidez de delineación de la cuenca) donde debemos asegurarnos que se encuentren los shapes y mallas generados previamente en el lugar correcto, el cual se muestra a continuación:



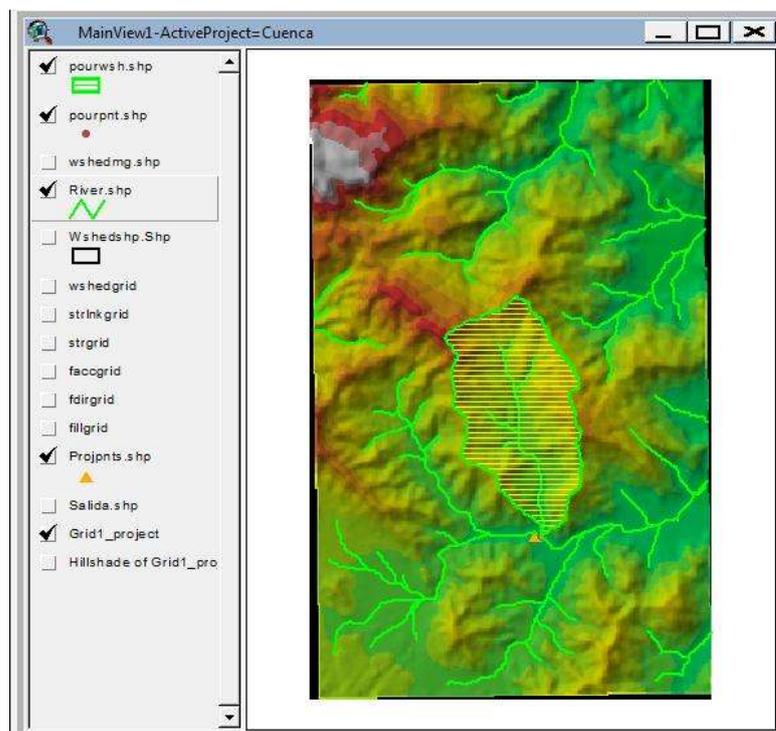
Confirmados los shapes y las mallas se da clic en **“OK”** acto seguido aparece la ventana **“Point Delineation: Action Confirmation”** (*Delineación del punto: Acción de confirmación*), donde se pregunta si el comando actual utiliza el punto sugerido (Punto de salida de la cuenca marcado) para la delimitación para ello el programa hace un acercamiento al punto, el cual debe quedar cerca del tramo del cauce principal ubicado en la cuenca de estudio, como esto se cumple se da clic en **“Yes”**.



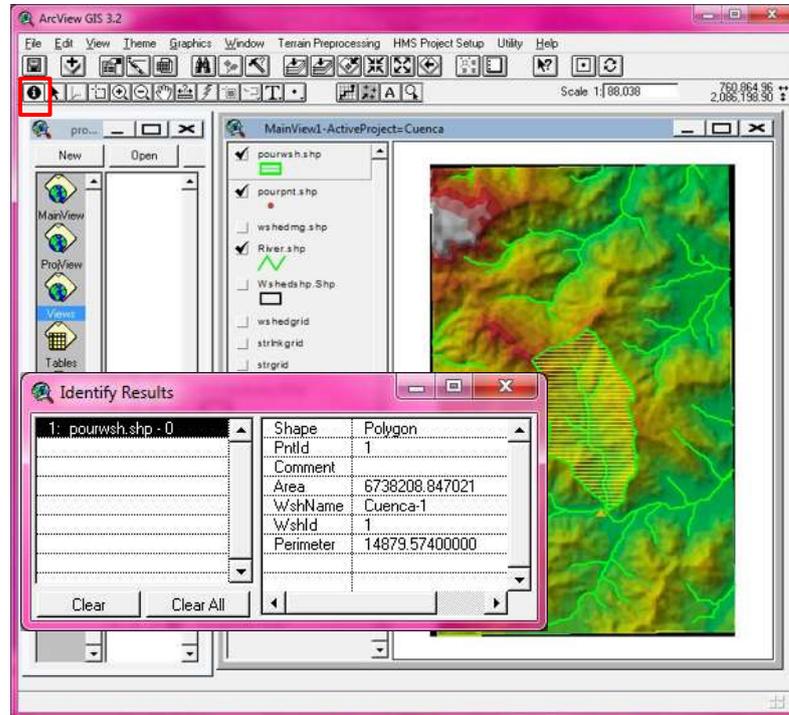
Ahora se guardará el punto generado por el programa dando clic en **“Yes”** en la ventana **“Point delineation: Point and watershed save confirmation”** (*Delineación del punto: Confirmación de guardar punto y cuenca*). Se puede cambiar el nombre del punto en este caso se le nombró **“Cuenca-1”**.



Hecho lo anterior queda delimitada la cuenca a partir de la información del MDE.

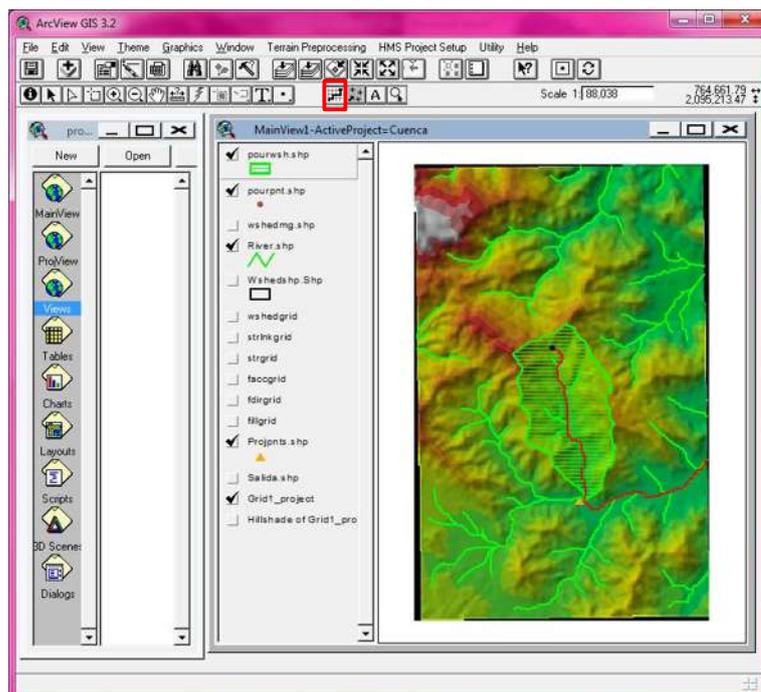


Con la función “**Identify**” (*Identificar*) se pueden observar las características de los elementos que estén seleccionados. En este caso mantenemos resaltado el shape *pourwsh* y al dar clic en “**Identify**” y luego en la cuenca aparecerá un recuadro con la información.



11. Flowpath tracing (Herramienta utilizada para dibujar un río en cualquier parte de la cuenca).

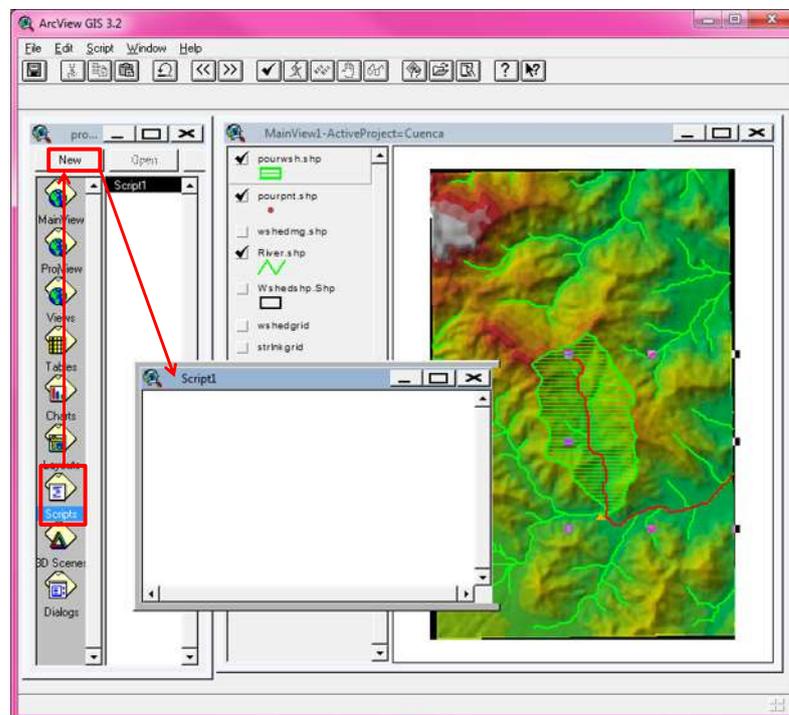
Para aplicar este comando se hace clic en el icono “**Flow path tracing**” (*Seguimiento del recorrido del flujo*) después se da clic en alguna parte de la cuenca y se verá en pantalla el cauce generado. Se borran los marcadores de inicio y final (puntos negros) ya que no son necesarios.



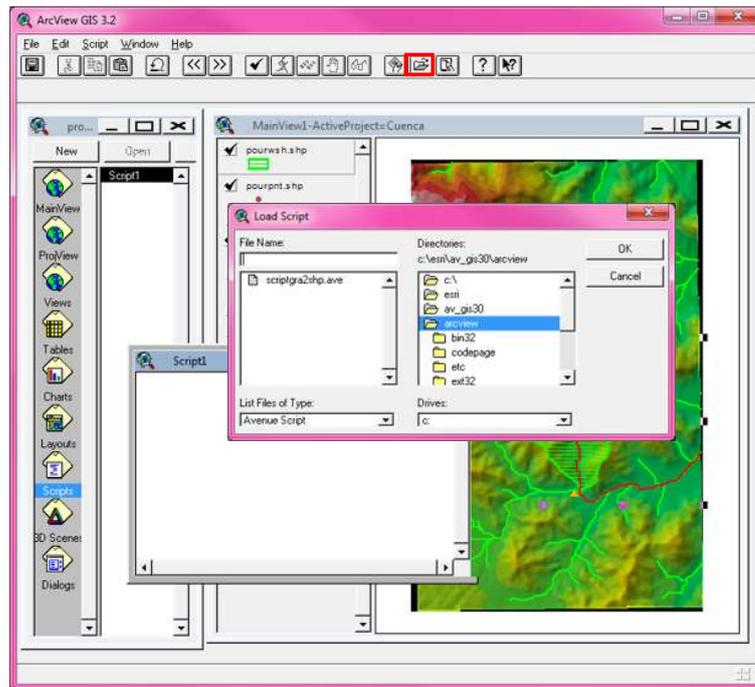
El cauce que se dibujó es una imagen y no puede ser usado para cálculos por el programa, por tanto se deben convertir en shape, ya que representa el cauce principal ubicado dentro de la cuenca.

- 12. Script** (Convierte las imágenes en shapes, no es una extensión, es un texto con código que obtiene las elevaciones del cauce principal).

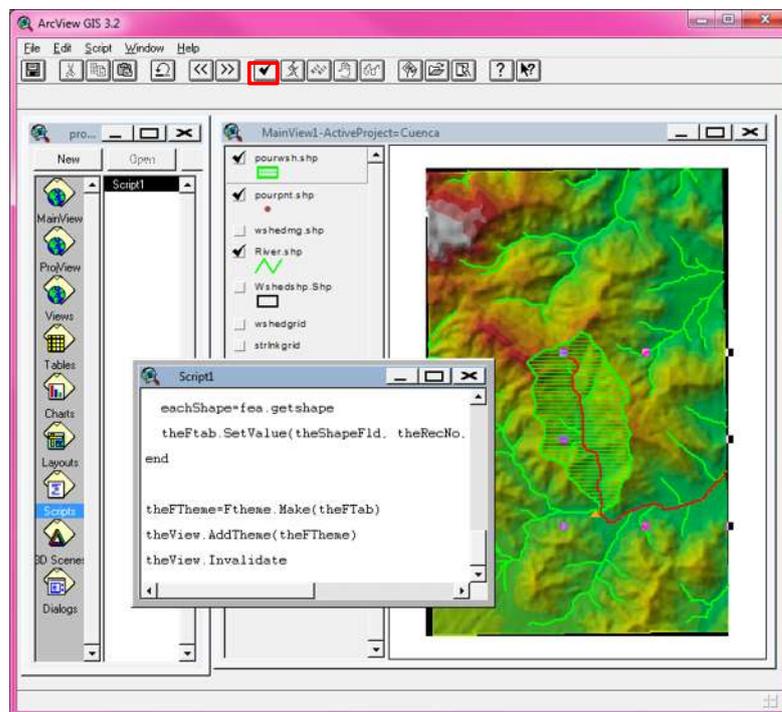
Para hacer esta conversión se selecciona el cauce, en seguida se busca **Scripts** en la ventana de la izquierda y se da clic en **"New"** (*Nuevo*); se abrirá un recuadro en blanco con el título de **"Script1"**.



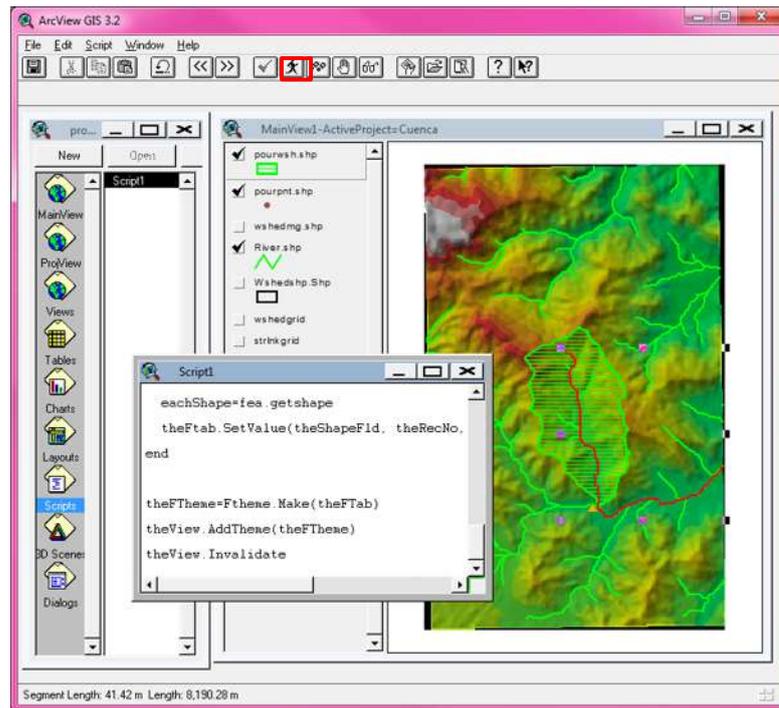
Después de lo anterior se selecciona el ícono **"Load Text File"** (*Cargar archivo de texto*) y se busca la carpeta donde se haya guardado el **"Scriptgra2shp.ave"**.



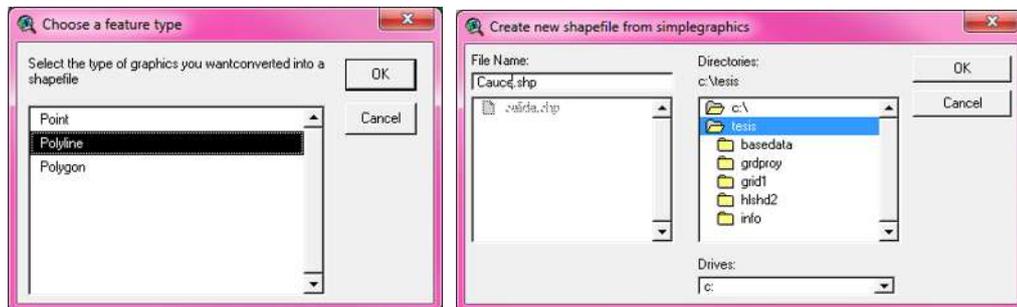
Al cargarlo se observa que aparece el código en el **"Script1"**. Para poder usar el Script se debe compilar primero esto se hace con el ícono de **"Compile"**.



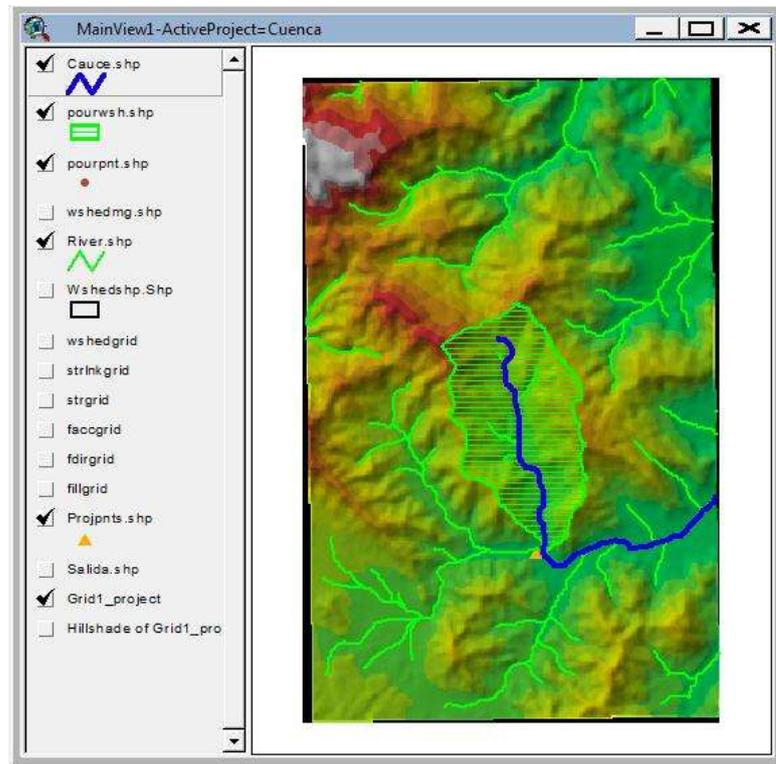
Una vez compilado el Script para su conversión se debe asegurar que la imagen a convertir está seleccionada, para ello se va a la vista y se da clic en el cauce. Hecho esto se regresa al Script y se da clic en el ícono **"Run"** (Correr).



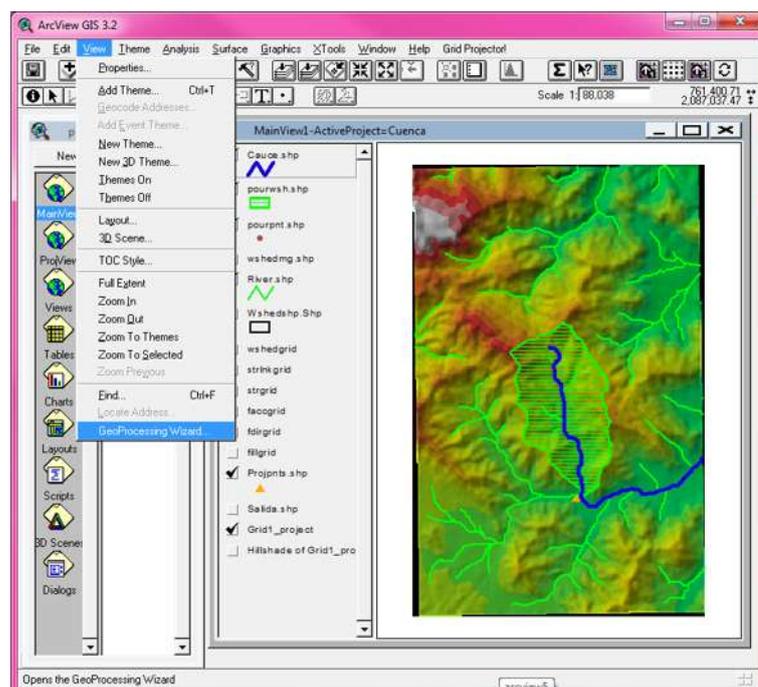
A continuación aparece la ventana **“Choose a feature type”** (*Elegir un tipo de característica*) donde se selecciona **“Polyline”** (*Polilínea*) y se guarda el shape a generar, en este caso se le nombró **“Cauce”**.



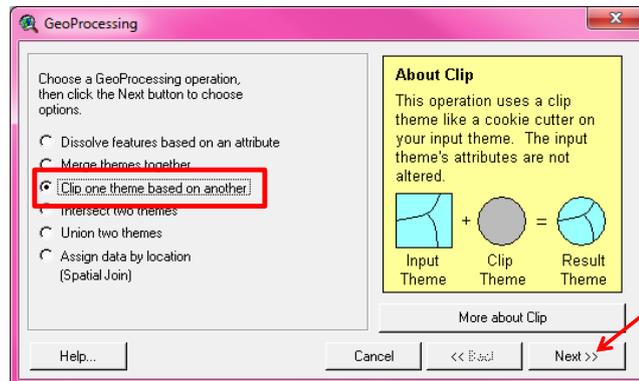
Ahora se borra la imagen del cauce (línea en rojo) y se cierra el script; se activa el shape generado para mostrar el cauce (se cambiaron sus características para hacerlo más visible). Recordar guardar el proyecto.



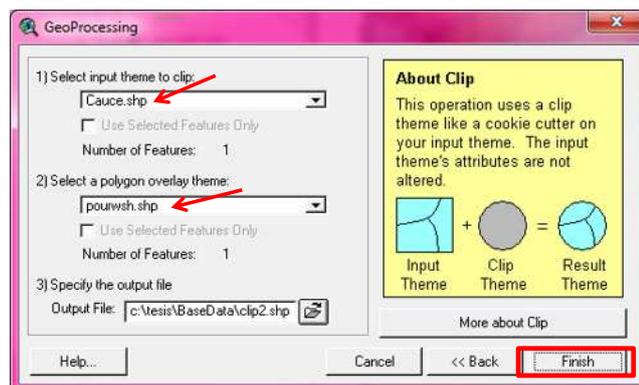
Se regresa a “Main View” en la parte izquierda de la pantalla y se alterna la interfaz con el ícono “Toggle View Interface”. Ahora se usará la extensión **GeoProcessing Wizard** para recortar el shape del cauce principal y quedarnos sólo con la parte que se encuentra dentro de la cuenca para obtener sus características y que serán utilizadas posteriormente en los cálculos hidrológicos. Para aplicar este comando en el menú “View” (Vista) se selecciona “GeoProcessing Wizard” (Asistente de Geoprocesamiento). Emergerá la secuencia del geoprocesamiento y se sigue el procedimiento descrito a continuación.



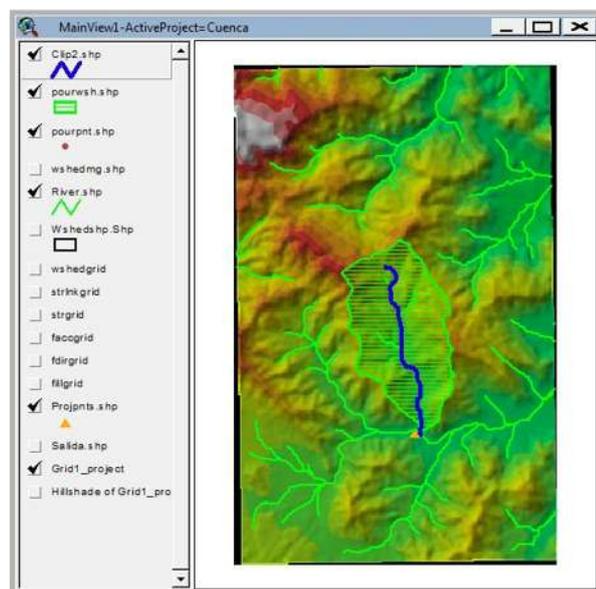
En esta ventana se selecciona la operación a realizar, la cual para este caso es “**Clip one theme based on another**” (Recortar un tema basado en otro).



Aquí se seleccionan los shapes a combinar, se recortará el tramo del cauce principal que está dentro de la cuenca delimitada. Por tanto en la opción “**Input Theme**” (Tema a recortar) debe estar el shape del cauce principal nombrado *Cauce* y en “**Overlay**” (Tema con el que se recorta) debe estar la cuenca delimitada nombrada *Pourwsh*.

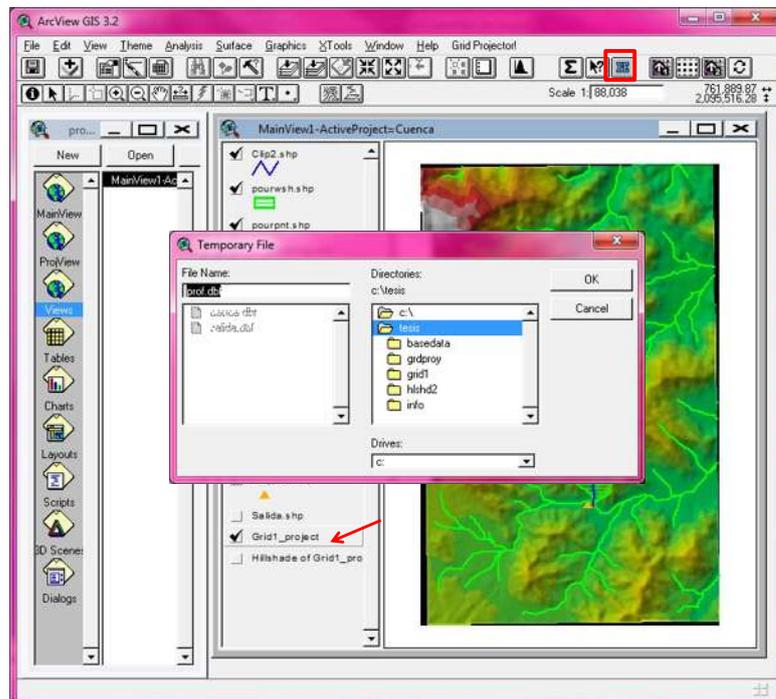


Al terminar el proceso se genera un shape llamado *Clip*. Se recomienda borrar la imagen del cauce principal debido a que ya no es de utilidad. Se modifican las características del recorte para hacerlo más visible.

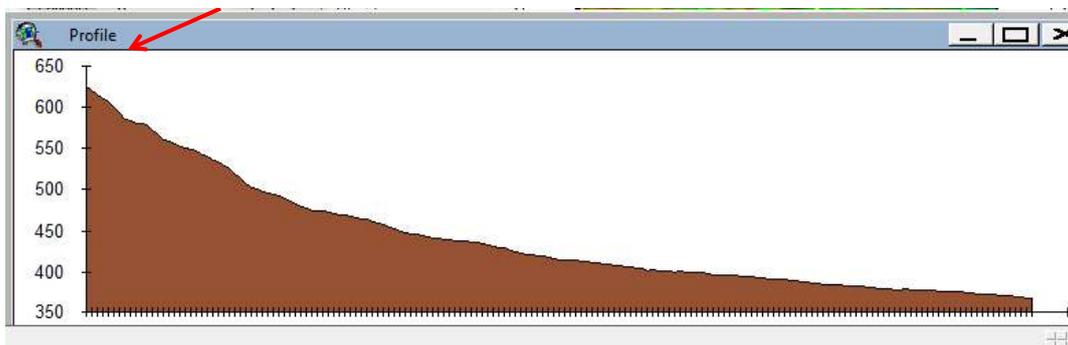
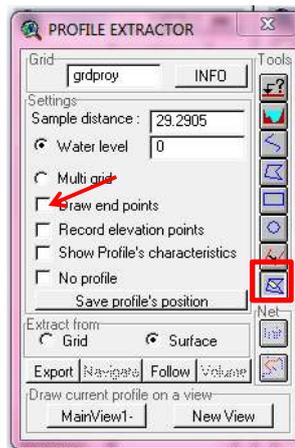


- 13. Profile Extractor** (Extensión que genera el corte de elevaciones al trazar una línea sobre la malla). Permitirá obtener el perfil del cauce principal para poder analizar los cambios de elevación respecto de las longitudes y finalmente calcular la pendiente que represente el funcionamiento del cauce al momento de transportar el flujo captado por la cuenca delimitada.

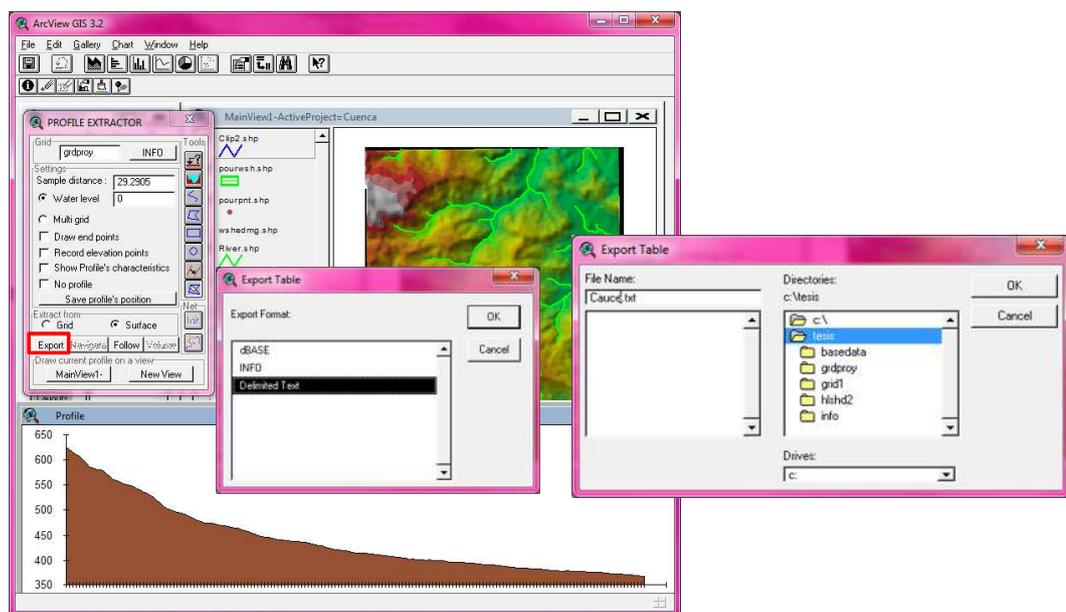
Con la malla “Grid1_project” seleccionada se da clic en el ícono “PE” (*Extractor de perfiles*) y se guarda el archivo de datos a generar que se podrá exportar y abrir en Excel. Se recomienda conservar el nombre destinado por el programa (Consultar apartados 4.3.2.2 y 4.3.2.3 en las páginas 30-36).



Se abre la ventana del extractor de perfiles, ahora se selecciona el recorte hecho en el paso previo y se desactiva la opción de “**Draw end points**” (*Dibujar final de puntos*). En seguida se da clic en el ícono que permite seleccionar las características del tema activo y después en el cauce, se observa el perfil en otra ventana.



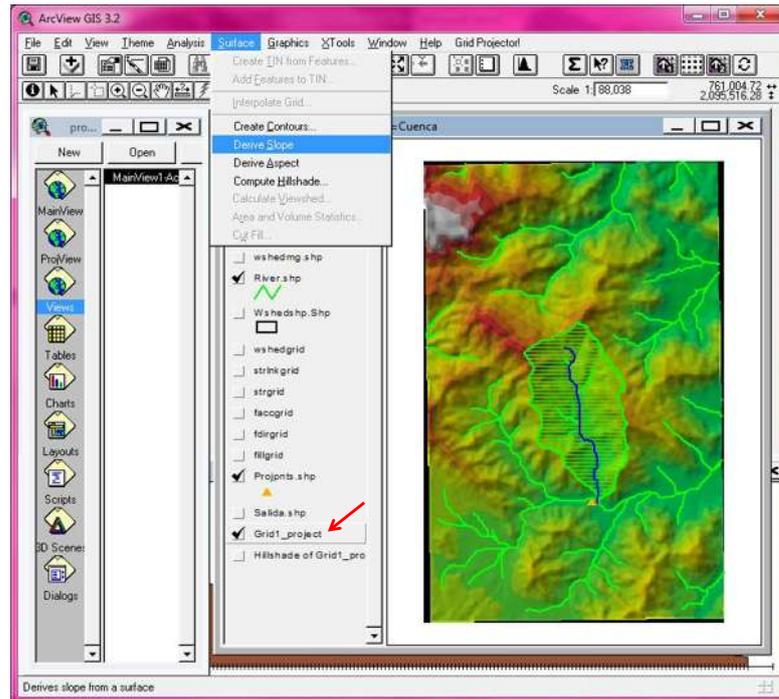
Se exporta la información del perfil con la opción **“Export”** (*Exportar*), se selecciona la opción **“Delimited text”** (*Texto delimitado*) y se puede guardar la tabla en una carpeta distinta a la del proyecto sin embargo no se recomienda con el objeto de mantener toda la información en el mismo lugar.



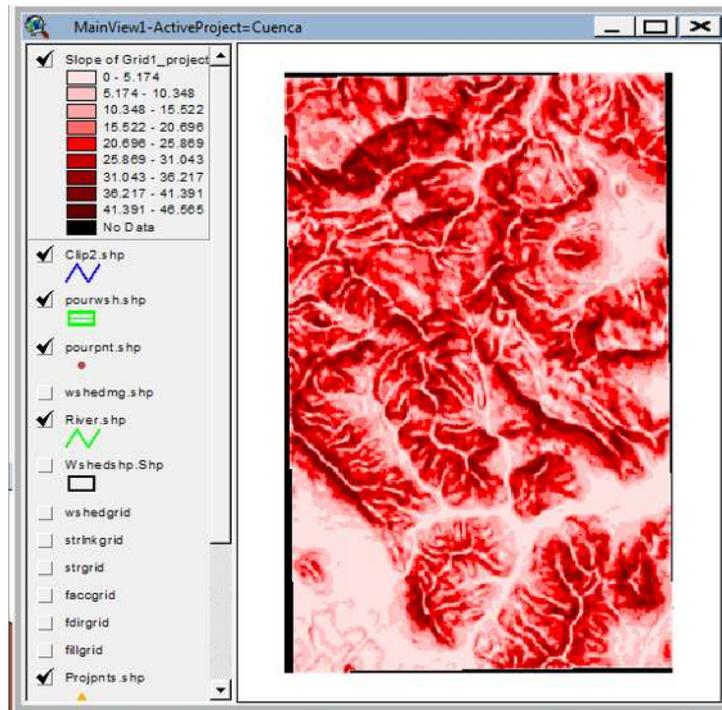
Se pueden ver las características del perfil en “**Show Profile’s characteristics**”. El cauce quedará seleccionado para deseleccionarlo correctamente se utiliza el ícono “**Clear Selected Features**” (*Borrar características seleccionadas*). Recordar guardar el proyecto.

14. Generación del mapa de pendientes

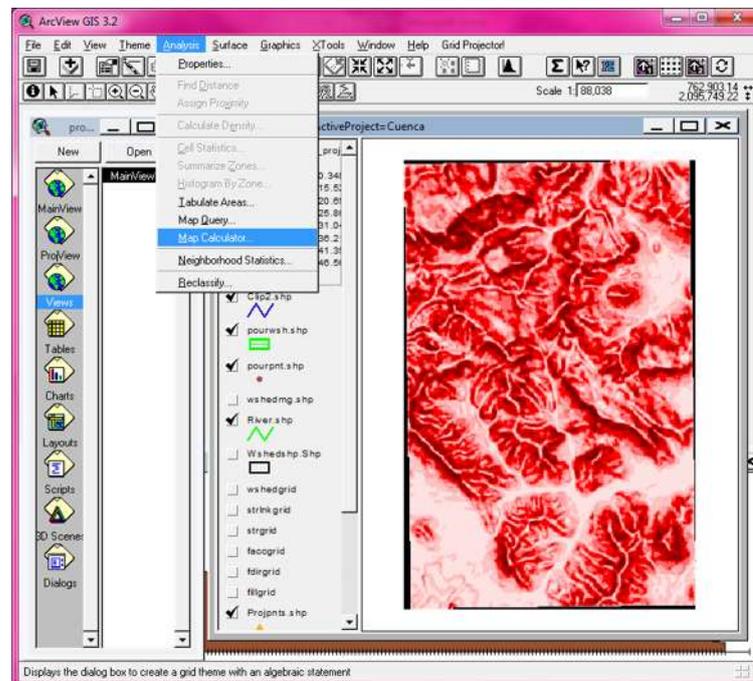
Con la malla “Grid1_project” seleccionada, en el menú “**Surface**” (*Superficie*) se utiliza la herramienta “**Derive slope**” (*Deducir la pendiente*).



Se genera la malla “Slope of Grid1_project” con las diferentes pendientes en porcentaje representadas con una escala de colores.

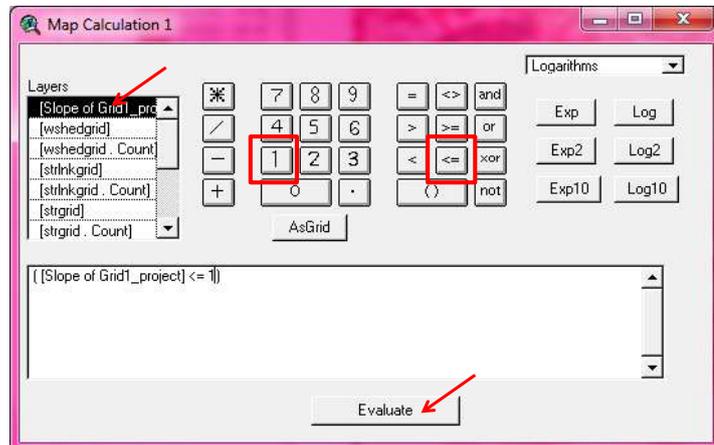


Como los valores de las pendientes en el paso previo son muy variados, se reducirá esa escala a pendientes con valores menores al 1% y mayores de 1% con la finalidad de poder seleccionar los números de escurrimiento en el estudio hidrológico. Para esto en el menú “**Analysis**” (Análisis) se selecciona la opción “**Map calculator**” (Calculador de mapa). Se recomienda tomar nota de la condición que se emplea para más adelante.

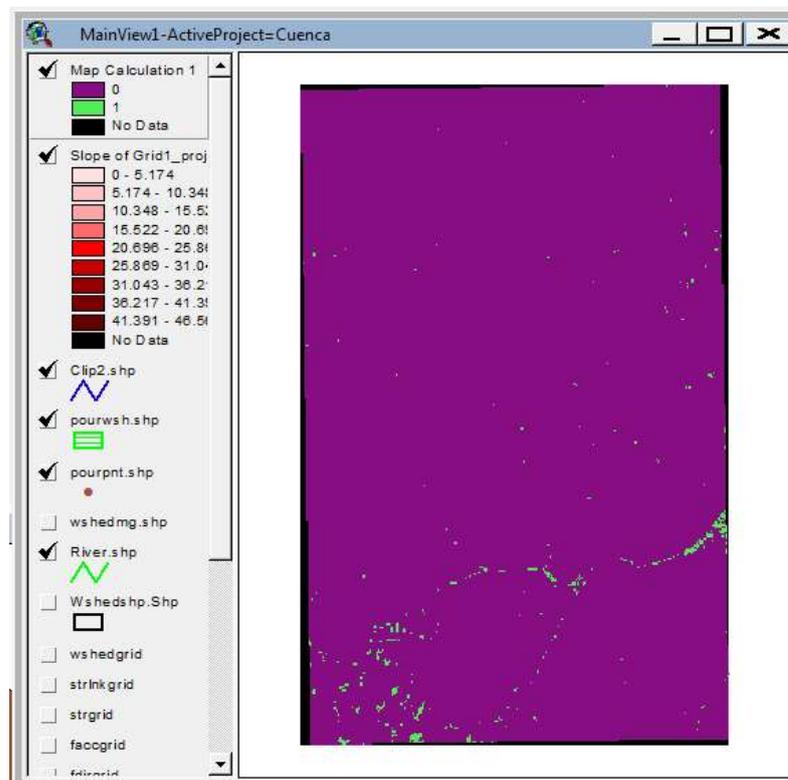


En la ventana “**Map Calculation 1**” se selecciona con doble clic la malla generada en el paso previo y se establecen las condiciones de las pendientes; primero se oprime el botón de “menor

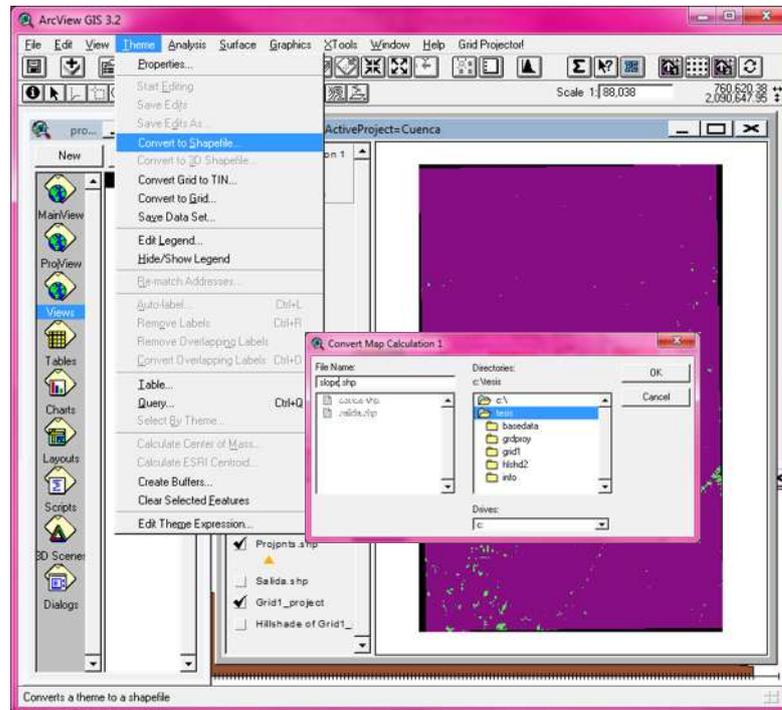
o igual que” y en seguida el número 1, después la opción **“Evaluate”** (*Evaluar*); con esto la condición presentada dice que se presenten todos los valores de la malla seleccionada cuando sean menores o iguales a 1 en la propiedad de la pendiente, así que devolverá “Cierto” (1) cuando se cumpla y “Falso” (0) cuando no se cumpla esto permite clasificar el valor de la pendiente a partir de la condición solicitada.



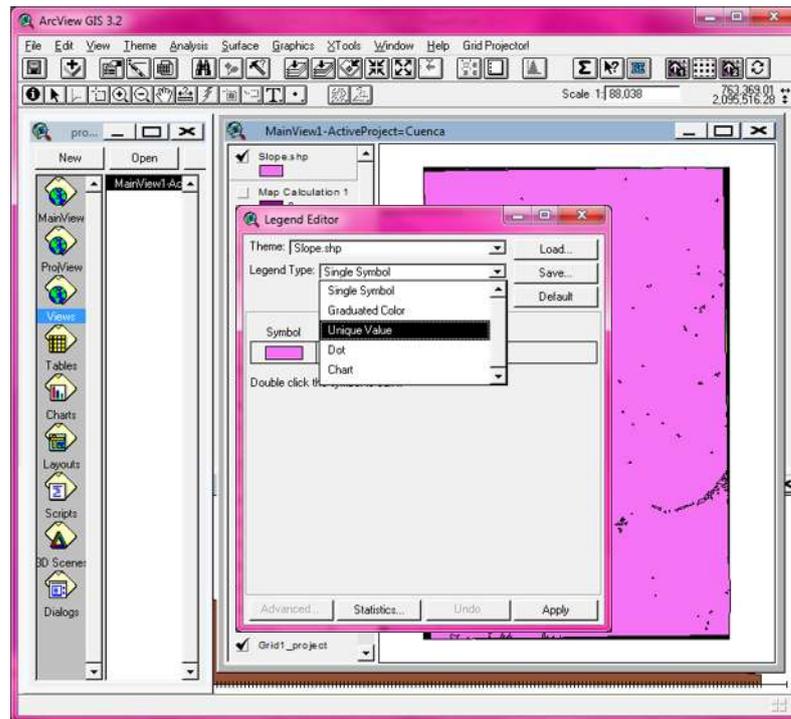
Al cerrar la ventana del calculador del mapa se observa que se generó el mapa con sólo 3 colores representativos de los valores de las pendientes. El morado representa pendientes mayores al 1%, el verde representa pendientes menores o iguales al 1% y el negro donde no hay datos disponibles esto debido a que es el espacio generado en la proyección de la malla y que normalmente quedarán fuera del área de estudio por lo tanto sólo nos interesa analizar los datos en color morado y verde.



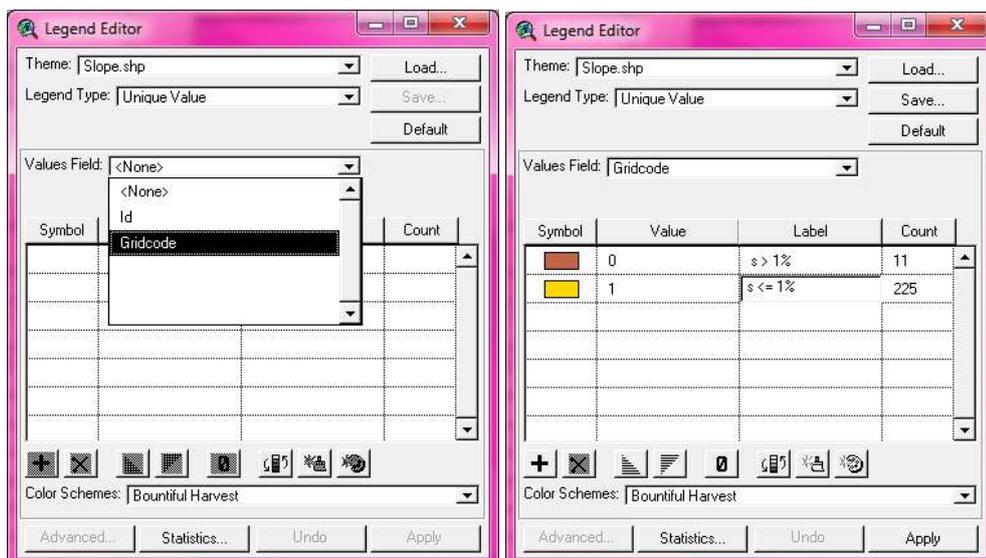
Se borra el tema anterior ya que lo siguiente se hace a base del mapa de clasificación de pendientes generado. El cual se convertirá en shape para poder utilizarlo. Esto se hace en “**Theme**” (Tema) y en “**Convert to shapefile**” (Convertir a archivo shape). Se guarda este archivo en la carpeta que hemos asignado para el proyecto. Se agrega el shape a la vista.



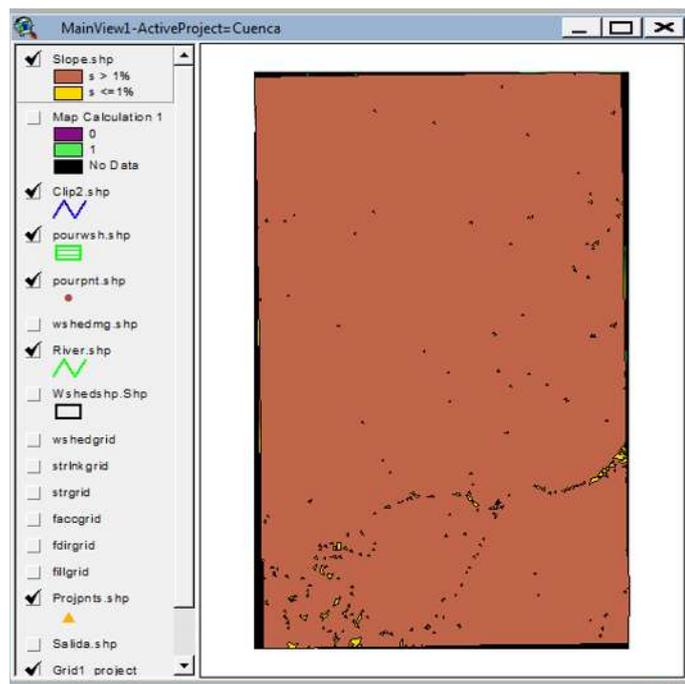
Se modifica el shape de pendientes para que sea más claro distinguirlas, esto se hace en la ventana “**Legend Editor**” (Editor de leyenda) en la celda “**Legend Type**” (Tipo de leyenda) se selecciona la opción “**Unique Value**” (Valor único) esto para clasificar el shape de acuerdo a un valor único que serán las condiciones que marcamos en el mapa de pendientes.



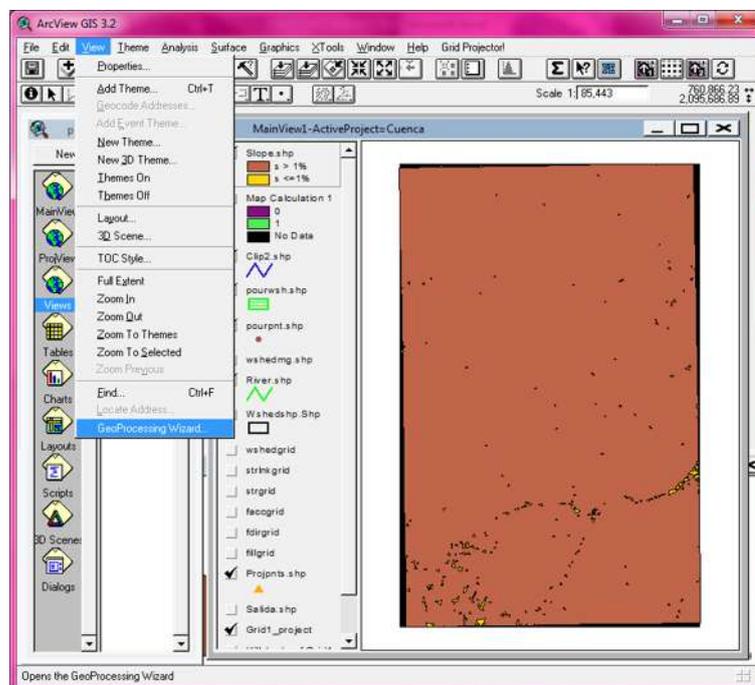
Ahora en la casilla “**Values Field**” (*Valores de campo*) se selecciona **Gridcode** ya que es el campo donde se encuentran los valores de un mapa calculado con la función “**Map calculator**”, al hacer esto se verán en la tabla dos colores y a cada uno de ellos se le asignará una descripción más detallada en la columna “**Label**” (*Etiqueta*) para reconocer las pendientes en el shape. Recuerde que el valor cero no cumplía la condición de que la pendiente fuera menor o igual a 1% mientras que el valor uno si la cumplía.



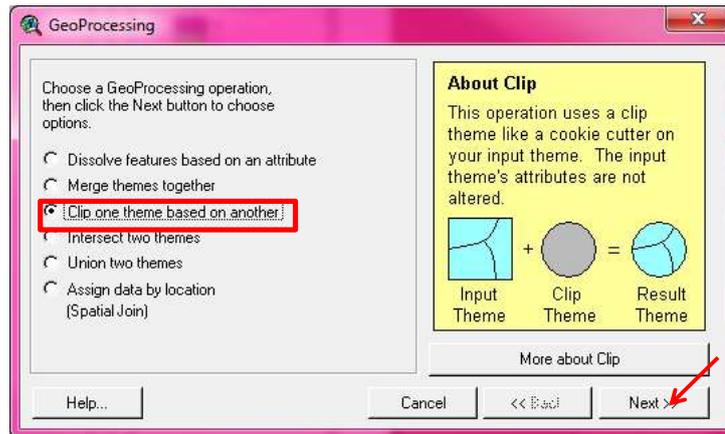
Se da clic en “**Apply**” (*Aplicar*) y automáticamente se verá en pantalla el resultado. Recordar guardar el proyecto. Se observa entonces que el área trabajada tendrá un valor alto en la pendiente debido a la distribución de los valores dentro del MDE. Se puede borrar el mapa de pendientes para no saturar el espacio además que ya no es necesario para procesos siguientes.



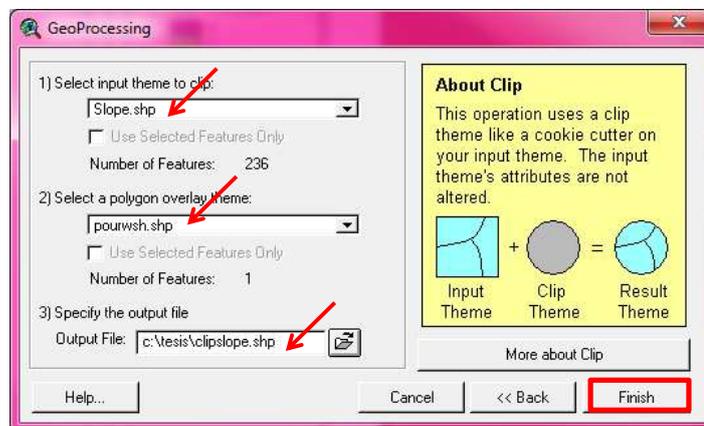
Nuevamente se hace uso de la extensión “**GeoProcessing Wizard**” para recortar el mapa de pendientes y sólo tener la parte de interés que es la cuenca delimitada. Para aplicar este comando en el menú “**View**” se selecciona “**GeoProcessing Wizard**” Emergerá la secuencia del geoprocesamiento y se sigue el procedimiento descrito a continuación.



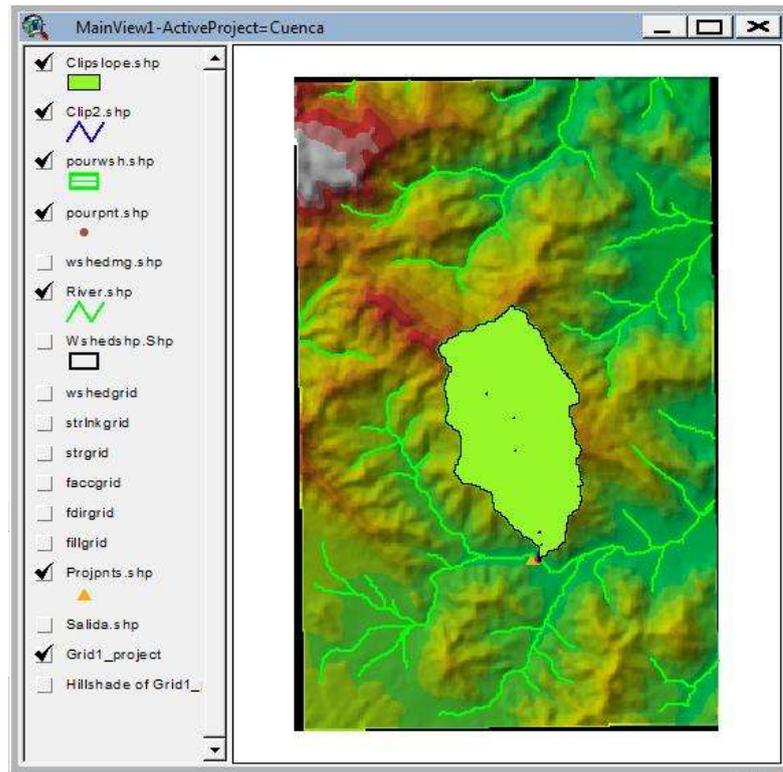
En esta ventana se selecciona “**Clip one theme base don another**” nuevamente y se da clic en “**Next**”.



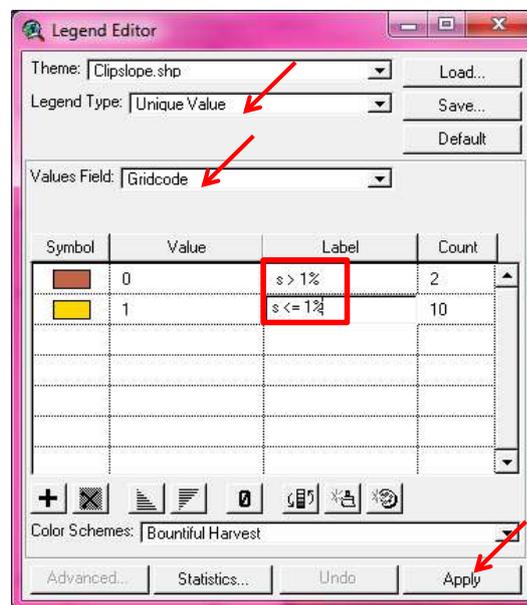
Ahora se seleccionan los shapes a combinar. En la opción “**Input Theme**” debe estar el shape del mapa de pendientes clasificadas llamado *Slope* y en “**Polygon Overlay**” debe estar la cuenca delimitada *Pourwsh*. Como recomendación se puede cambiar la dirección para guardar el corte, debido a que el programa los guarda en el directorio “*Basedata*” esto porque la extensión HEC-GeoHMS es la que genera este directorio y como se está trabajando en la vista “**MainView**” asume que toda la información generada son datos del HMS. Pero como no es así lo mejor es que en “*Basedata*” quede sólo lo que se generó para el dibujo de la cuenca y lo demás quede en el directorio de la raíz del proyecto.



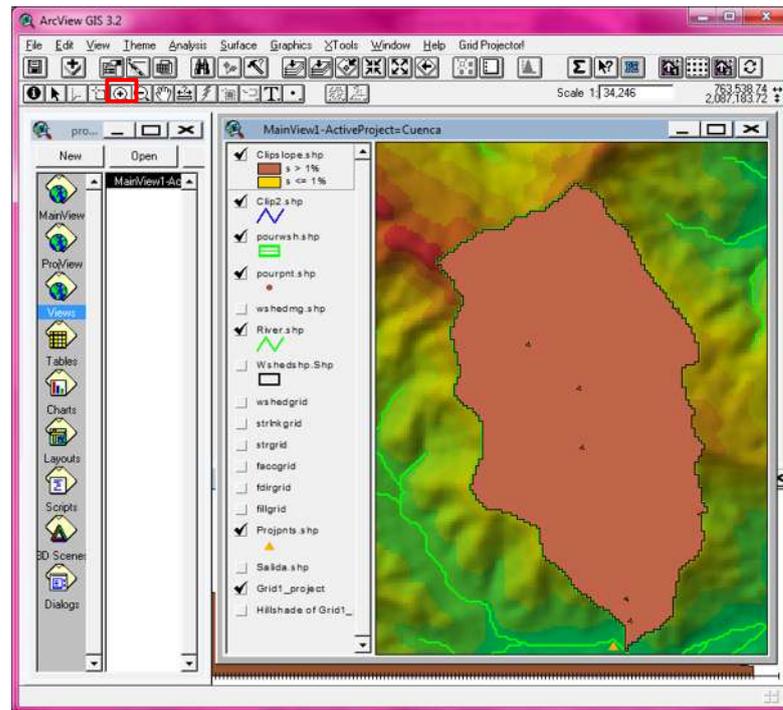
Al terminar el proceso se genera un shape al que se nombró *clipslope*. Se borra el shape del mapa de pendientes clasificadas debido a que ya no es de utilidad.



Se modifican las propiedades del shape recortado para distinguir en colores las pendientes, se hace del mismo modo que se hizo para el shape del mapa de pendientes original.



Al dar clic en “Apply” se observa el cambio de colores en pantalla pero para poder apreciarlo mejor se hará un acercamiento esto con el ícono “Zoom In” y después haciendo un recuadro de la cuenca sin soltar el mouse.



15. Agregando mapas de INEGI y CONABIO

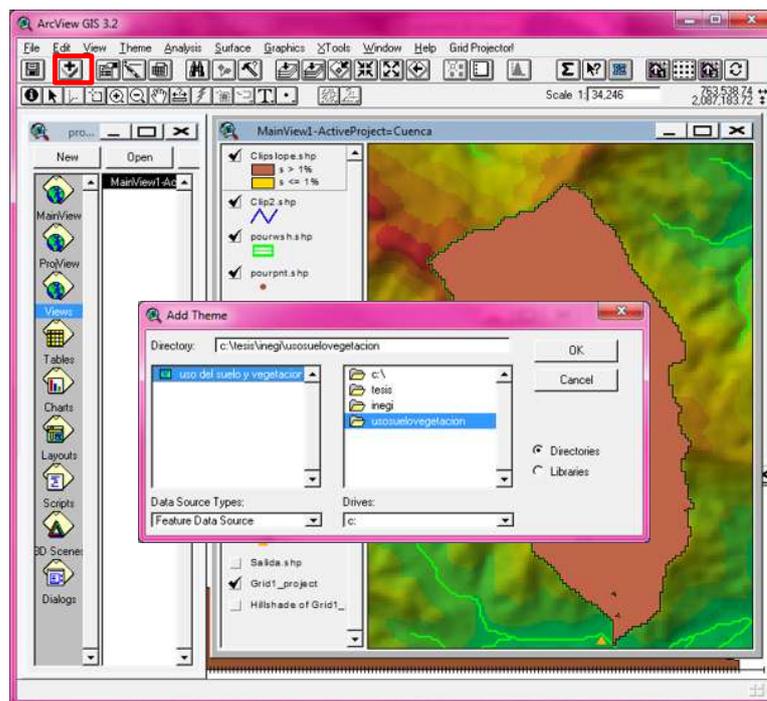
Para realizar esta parte se debieron haber descargado previamente los mapas de uso de suelo y vegetación del INEGI y el de edafología de CONABIO; en este caso se guardaron las carpetas descargadas en la misma carpeta del proyecto para su fácil acceso.

Se pueden cargar las capas de información de INEGI (shapes), teniendo el cuidado de proyectarlas adecuadamente para que se superpongan correctamente. Estas se descargan en la pestaña "Geografía", se selecciona "Topografía" y se puede observar que algunos de los temas están a escala 1,000,000 y otros en escala 250,000. Se pueden también descargar de la página de CONABIO.

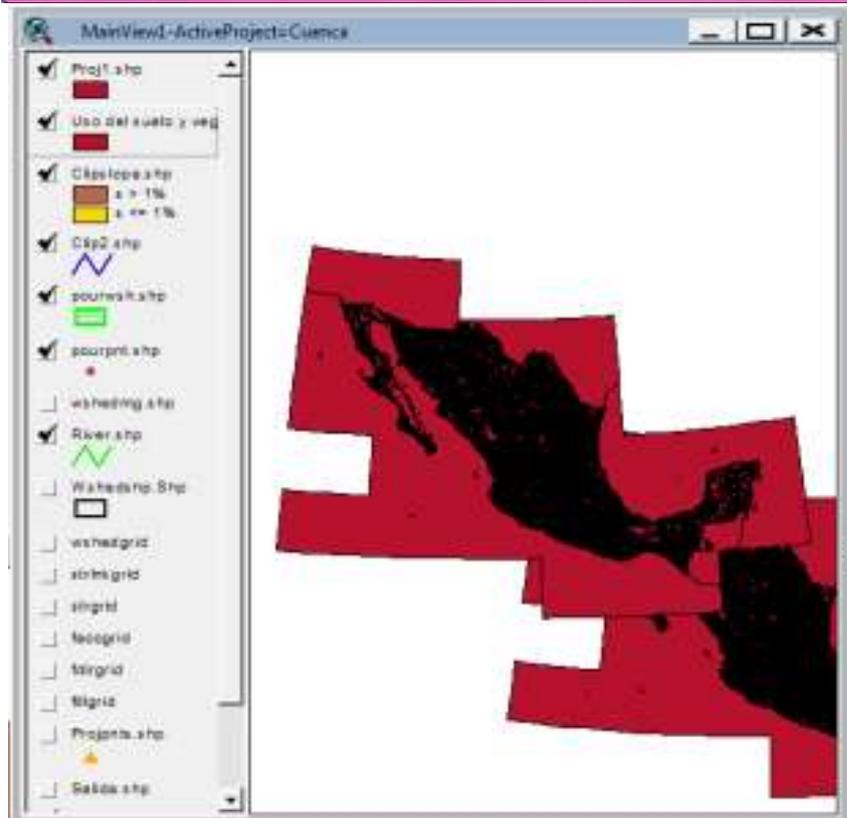
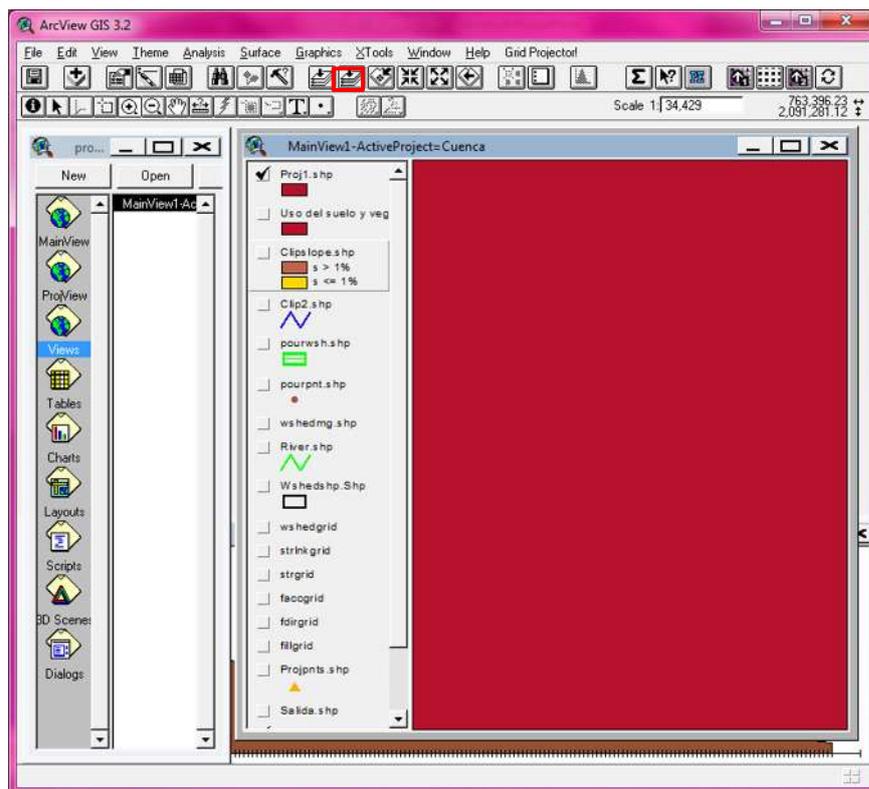


Una vez que se agrega en tema en MainView (es decir el Shape de información: ríos, lagos, carreteras, etc.) se revisa el archivo de metadata (normalmente es un html) para conocer las características del archivo y su proyección, para poder transformarlo al que estamos utilizando en el proyecto; en este ejemplo sería cambiar de nueva cuenta a UTM, Zona 13, unidades metros. Usualmente los mapas de INEGI y CONABIO tienen proyecciones tipo Cónicas Conforme de Lambert: dentro del *Grid Projection*, solo es necesario cambiar en la pestaña de categoría para que la opción *Custom*, esté disponible, una vez hecho esto la pestaña de *Category* se vuelve *Projection*, en donde se podrá seleccionar la antes mencionada; los demás datos se incluyen en el metadata de la carta correspondiente.

Primero agregamos el mapa de uso de suelo y vegetación, damos clic en el ícono “Add theme” y buscamos en la carpeta donde se haya guardado previamente dicho mapa es recomendable generar una carpeta con el nombre *INEGI* con la finalidad de ordenar adecuadamente la información adicional a utilizar y lo agregamos dando clic en “OK”.

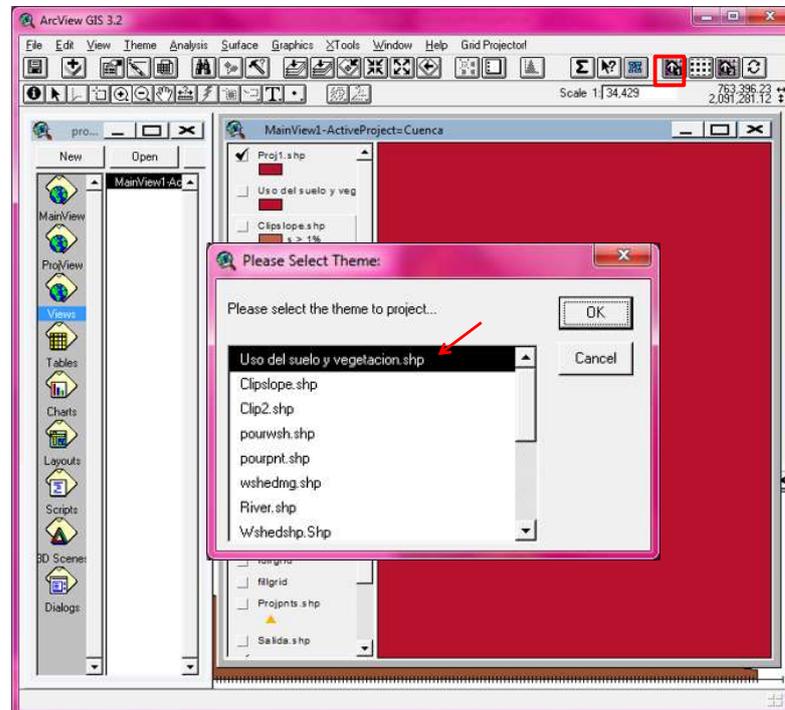


Al agregarlo se verá una la pantalla de un solo color o bien una parte de ella. Sólo es necesario dar clic en el ícono “Zoom to active theme(s)” (*Acercamiento de temas activos*) y en seguida se apreciará el mapa.

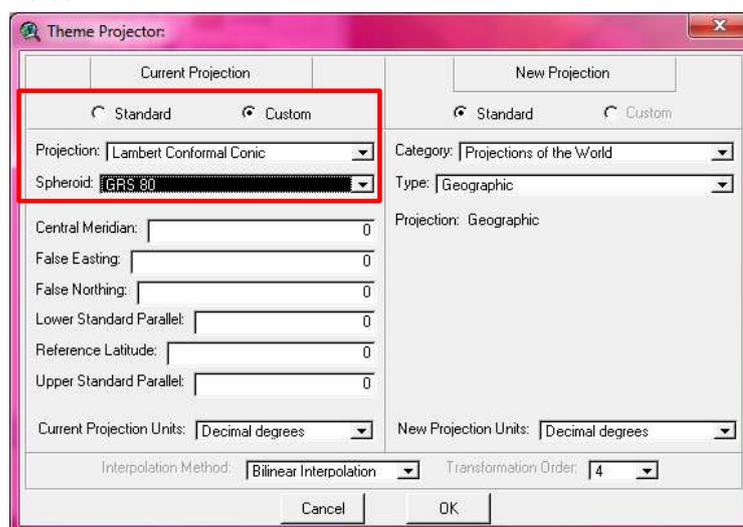


Se puede observar que el punto de salida de la cuenca queda fuera del mapa de uso de suelo, esto es porque la proyección del mapa de INEGI es distinta. Se convertirá a la misma proyección del MDE con la función **“Grid/Theme Projector”** (*Proyector de malla/tema*).

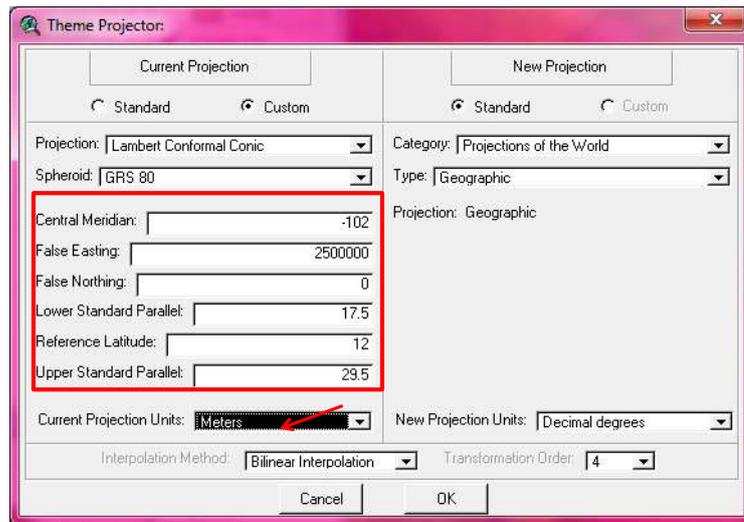
Después de dar clic en dicha función aparece la ventana donde seleccionamos el tema que convertiremos en este caso es “Uso del suelo y vegetación”.



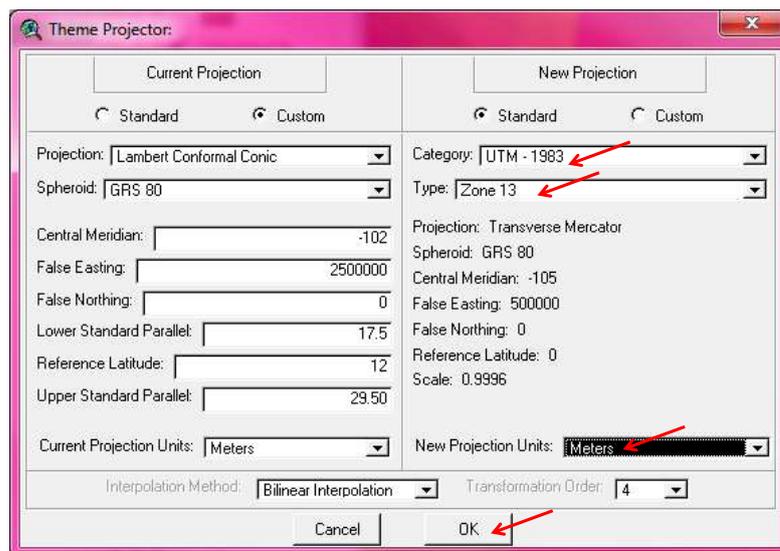
En la siguiente ventana a emerger del lado izquierdo es la proyección en la que está el shape y del lado derecho a la que vamos a convertirlo. El primer paso es seleccionar en la celda “**Category**” (Categoría) la opción “**Projections of a Hemisphere**” (Proyecciones de un hemisferio) en seguida se da clic en “**Custom**” con lo cual cambia la celda “**Category**” a “**Projection**” (Proyección) y en esta se selecciona “**Lambert Conformal Conic**” (Cónica conforme Lambert) y en la celda inferior que también cambió a “**Spheroid**” (Esferoide) se selecciona “**GRS 80**”.



En las celdas inferiores se insertan datos geodésicos del shape y se cambian sus unidades a metros.



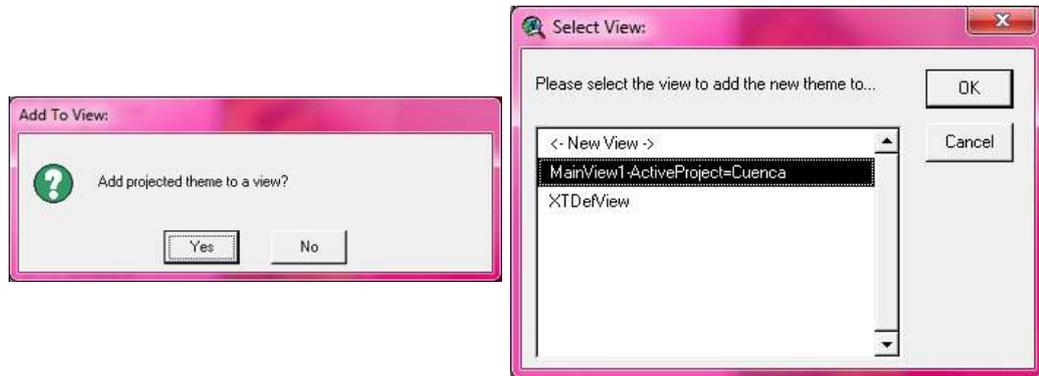
Ahora en las características de la nueva proyección elegimos “UTM-1983” en la celda “Category”, en la casilla “Type” seleccionamos la zona en que estamos trabajando es decir “Zone 13” y las unidades también son metros.



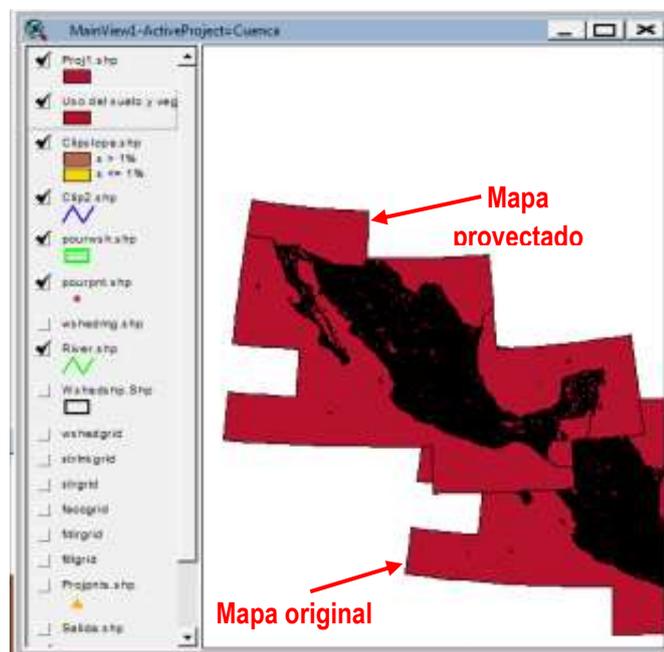
Hay que guardar el shape que se generará que es un archivo temporal así que podemos guardarlo en la carpeta del proyecto y después borrarlo.



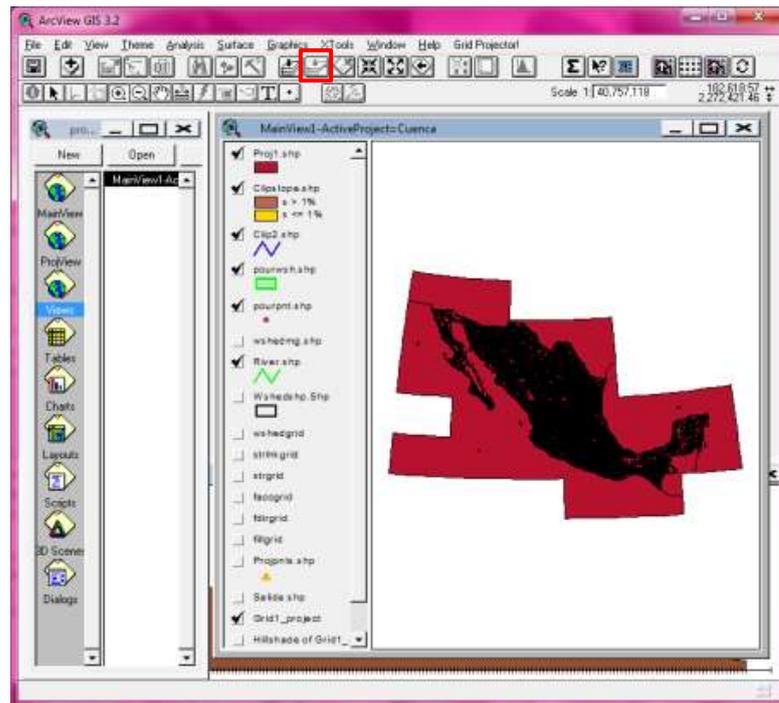
 Antes de agregar el tema a **MainView** se debe tomar en cuenta que debido a que el plano es muy grande esta operación tomará tiempo acorde con el tamaño y puede suceder que el programa indique que “no responde” cuando en realidad está procesando la información, por tanto es mejor no tener otros programas abiertos durante esta parte del análisis o tardará aún más y puede provocar la falla del programa sin que se haya guardado la información generada.



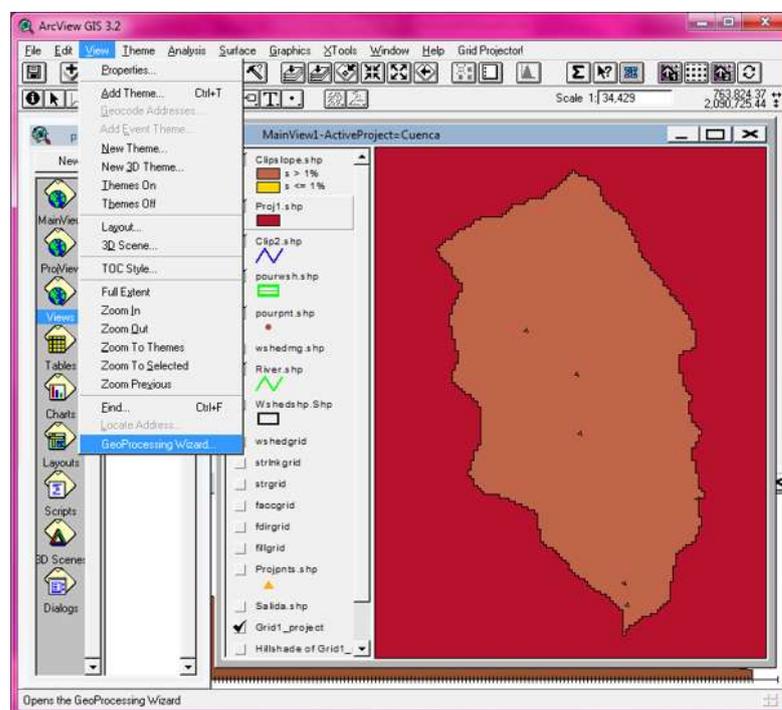
Al finalizar el proceso se observará de la siguiente manera. Se puede borrar el mapa de uso de suelo original debido a que la proyección realizada concuerda con la proyección de los datos ya generados al interior de la cuenca delimitada por lo que no es necesario en el resto de los pasos y permite hacer más eficiente los recursos de la computadora.



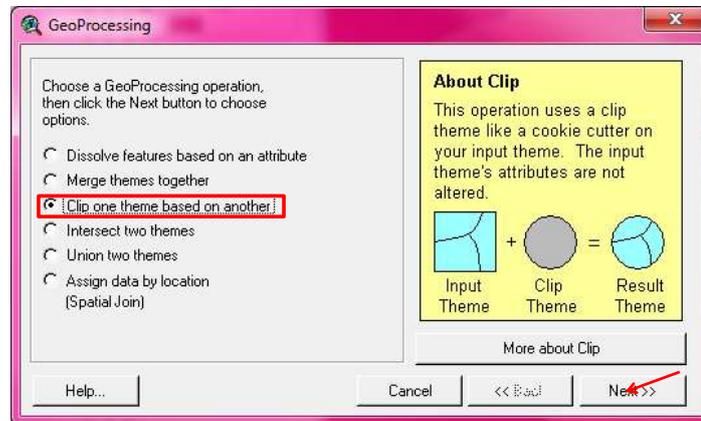
Se hace un acercamiento para apreciar mejor el shape del mapa proyectado.



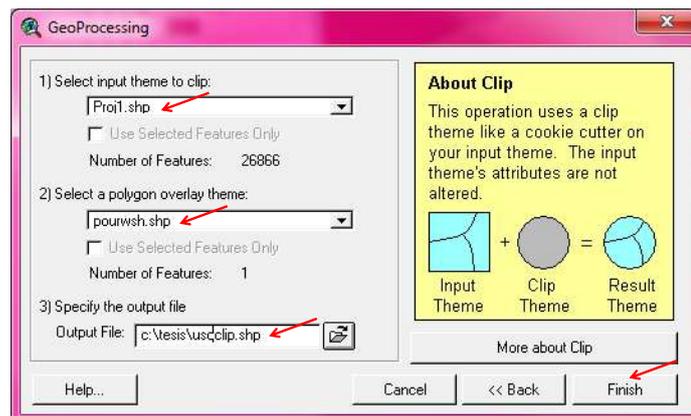
Se pasa a primer plano el corte de las pendientes clasificadas realizado previamente y se hace acercamiento apreciando así las pendientes de la zona en estudio y abajo el shape del mapa de uso de suelo. Se hará un corte, esto con la función “**GeoProcessing Wizard**”. Realizándose de la siguiente manera.



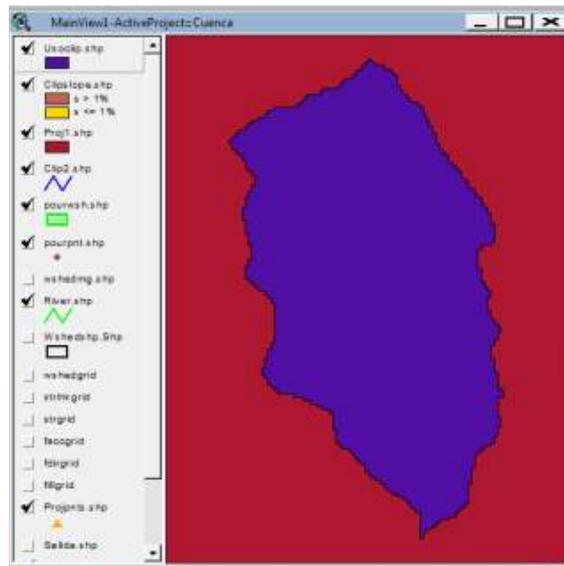
Se indica la operación a realizar.



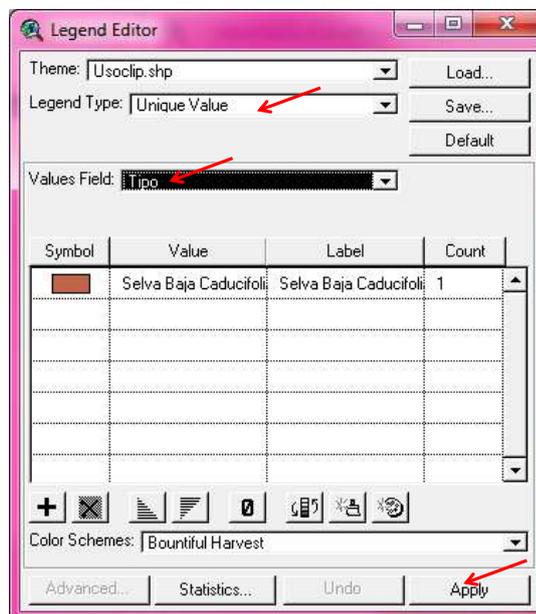
Se eligen los temas a combinar. Se hace el corte en base a la cuenca delimitada porque es el área de interés.



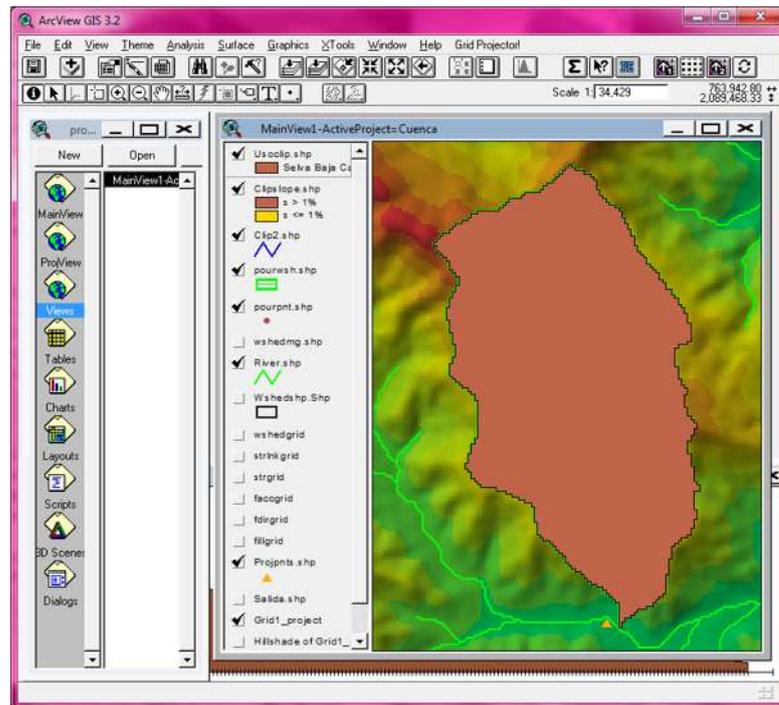
Al terminar el proceso se genera un nuevo shape al que se nombró "usoclip". Puede borrarse el shape del mapa de uso de suelo proyectado debido a que sólo nos interesa la información que está geoposicionada dentro de la cuenca demilitada.



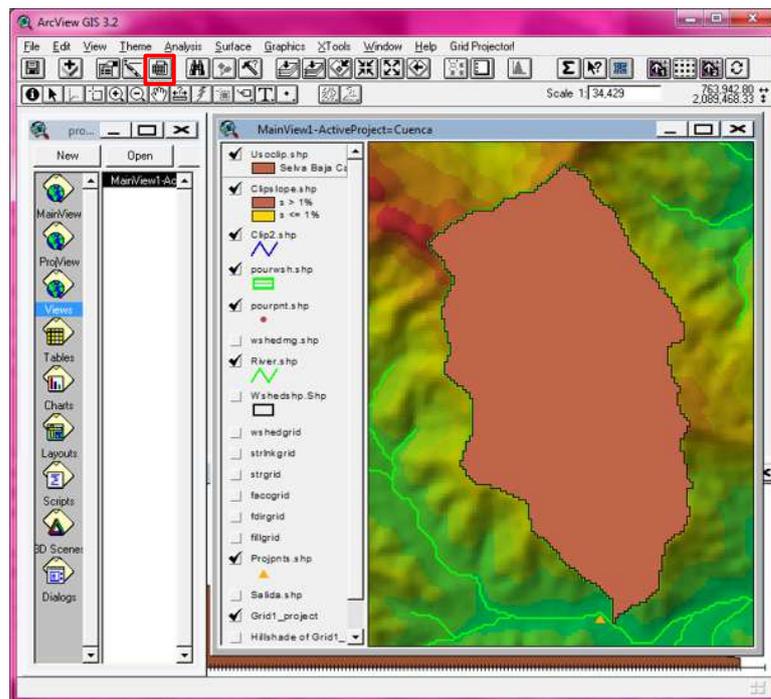
Ahora se cambiará el tipo de leyenda del shape generado para distinguir con colores los diferentes tipos de usos de suelo de la zona en estudio. Se realiza dando doble clic en el shape emergiendo así la ventana “**Legend editor**” (*Editor de leyenda*), se basarán los valores en un valor único esto en la celda “**Legend Type**” (*Tipo de leyenda*) en seguida se elige **Tipo** en “**Values Field**” (*Campo de valores*). Se observará que aparecen los tipos de uso de suelo en las celdas inferiores, para este caso sólo hay un tipo de uso de suelo “Selva” sin embargo dependiendo de la región en estudio pueden haber más tipos.



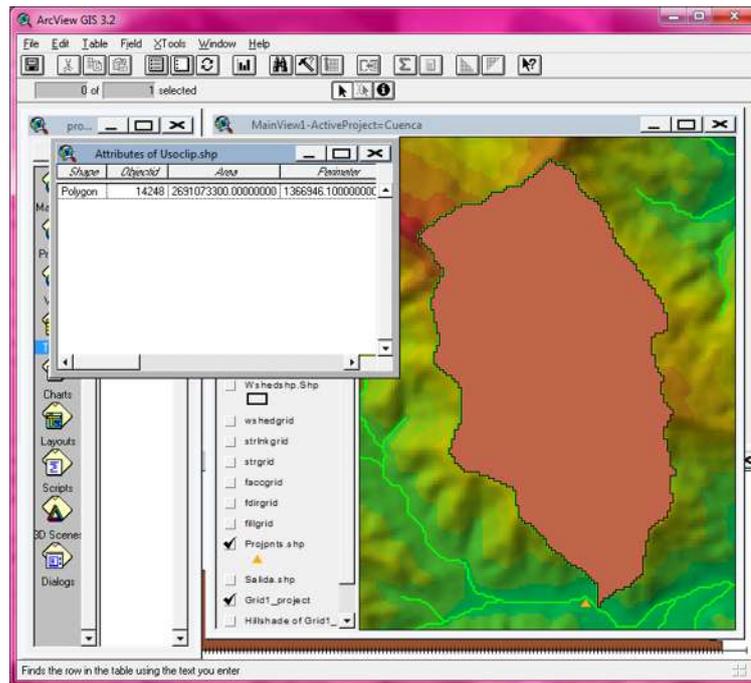
Al aplicar la modificación se observa de diferente color cada tipo de uso de suelo, en este caso sólo es un color.



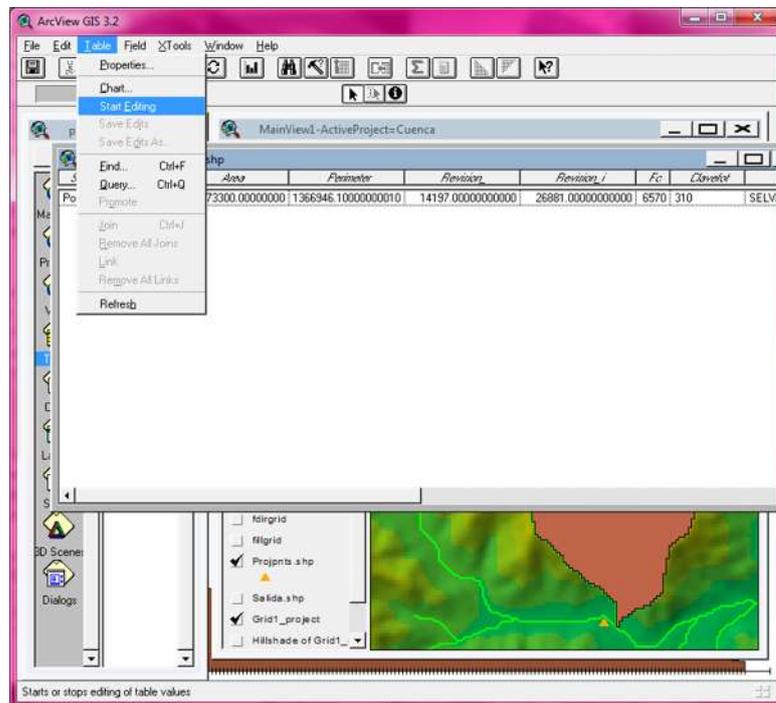
En la tabla de atributos se muestran las propiedades de los shaps.



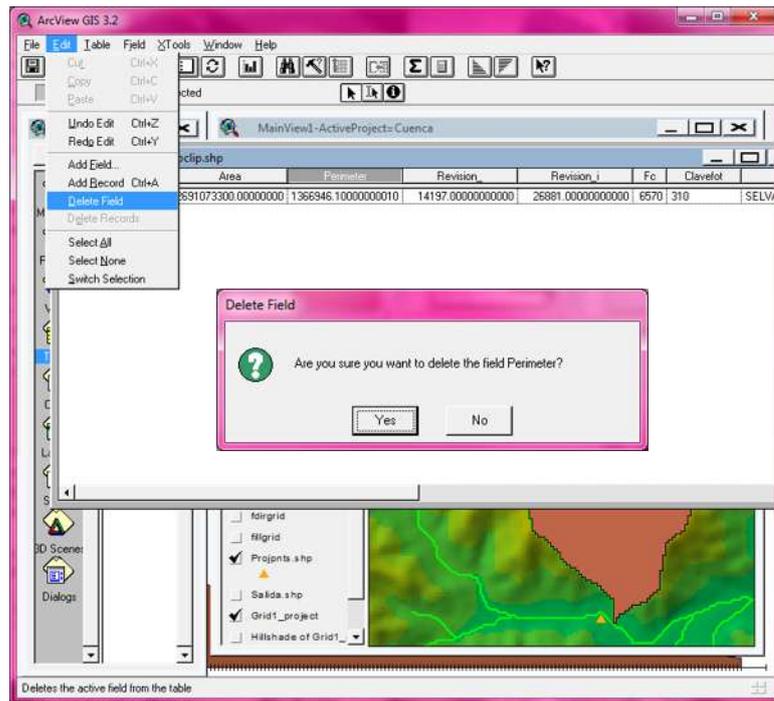
Para que la tabla sea más clara se eliminarán, modificarán y agregarán columnas.



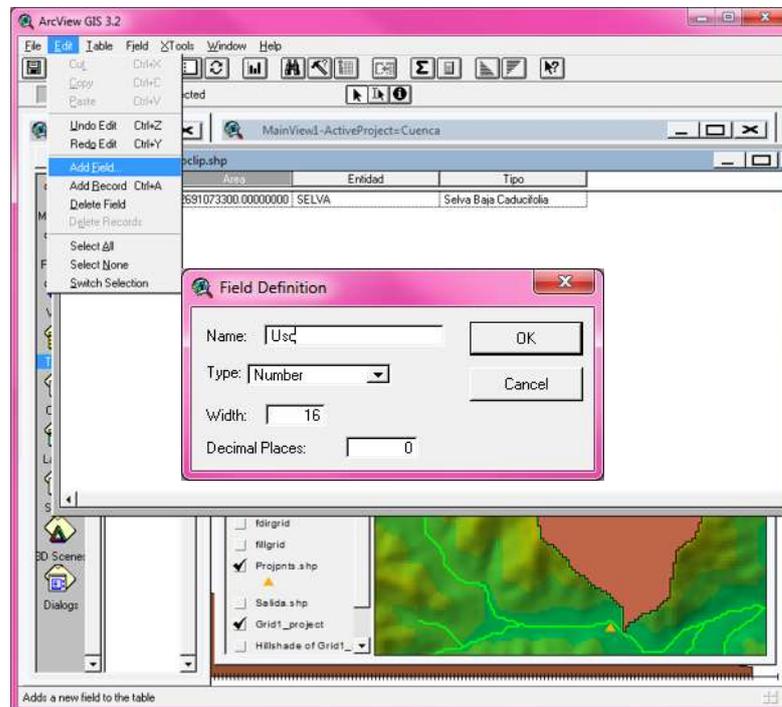
En el menú "Table" (Tabla) se inicia la edición de la tabla.



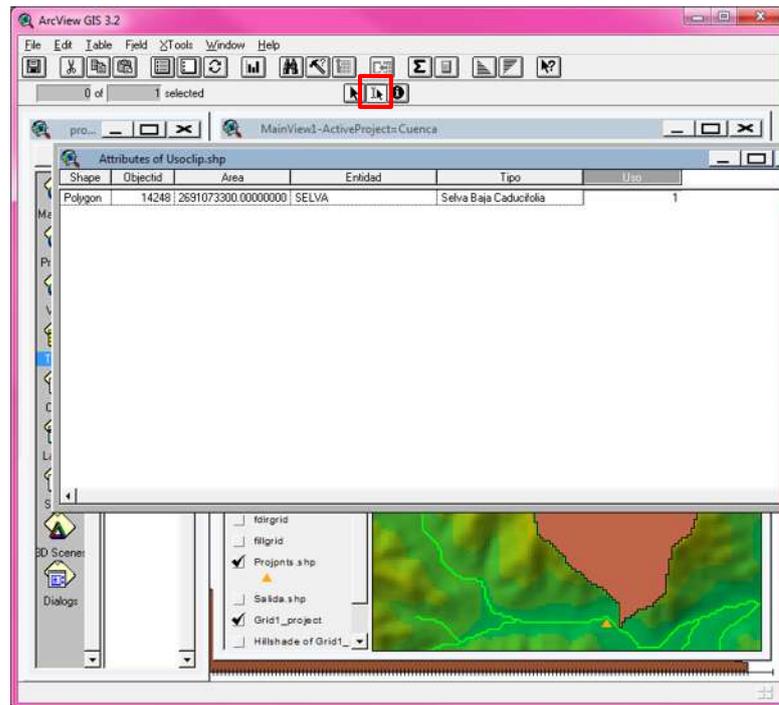
Se eliminan las columnas que no se necesitan, como en este caso fueron las siguientes: "Perimeter", "Shape_len", "Shape_area", "Vegsec", "Erosion", "Clavefot", "Fc", "Revision_i" y "Revision_" dado que sólo nos interesa el uso de suelo pero puede ser necesario alguna de las otras propiedades en el estudio, por ello es importante antes de modificar definir de manera adecuada la información que se requiere.



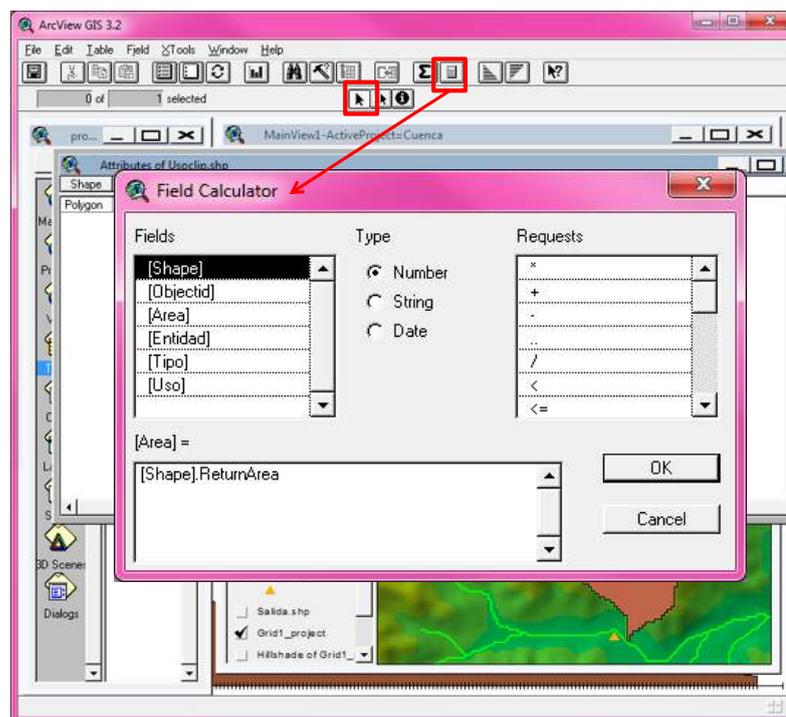
Se agregará la columna de uso de suelo. El tipo de columna debe ser un número para poder clasificar.



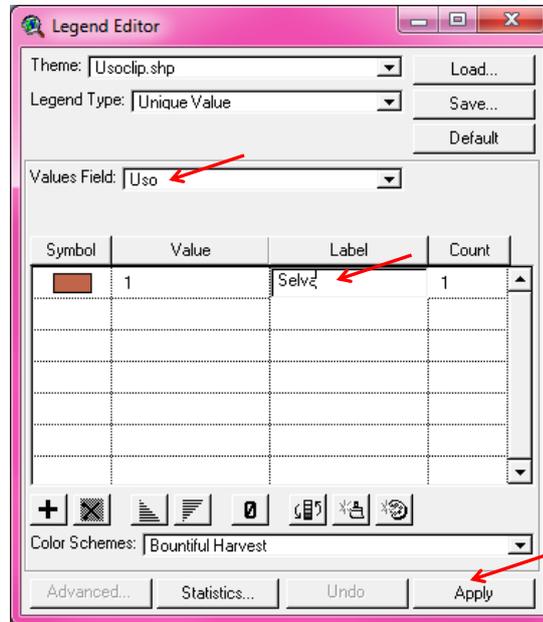
Se clasificará entonces los usos de suelo en la tabla. Esto poniendo un número por tipo de uso, por ejemplo 1 para Bosque, 2 para Selva, etc. En este caso sólo se tiene Selva así que sólo se tendrá el número 1. Se edita la columna con el ícono "Edit".



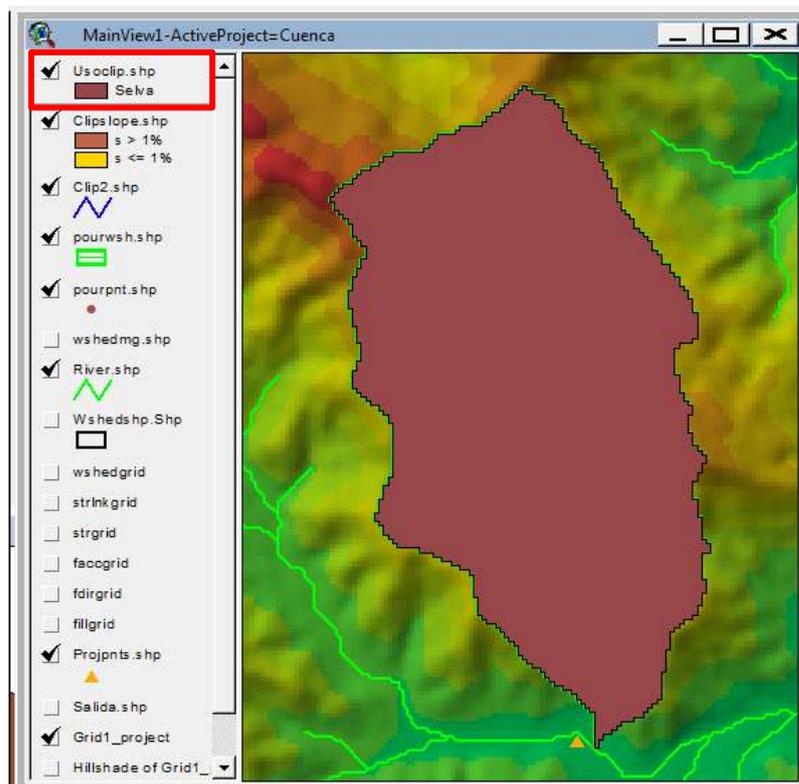
Se calculará el área ya que no se actualiza al hacer el corte. Con el ícono **“Select”** (*Seleccionar*) elegimos la columna **“Area”** y su cálculo se realiza con el ícono **“Calculate”** (*Calcular*). De la lista **“Fields”** (*Campos*) se selecciona [Shape] el cual representa cada figura de tipo de uso de suelo dibujada pudiendo así calcular sus propiedades. Para el caso del área debe introducirse el comando **“.ReturnArea”** (**Importante:** Se debe colocar punto decimal antes de indicar el comando). Sólo resta dar clic en **“OK”**.



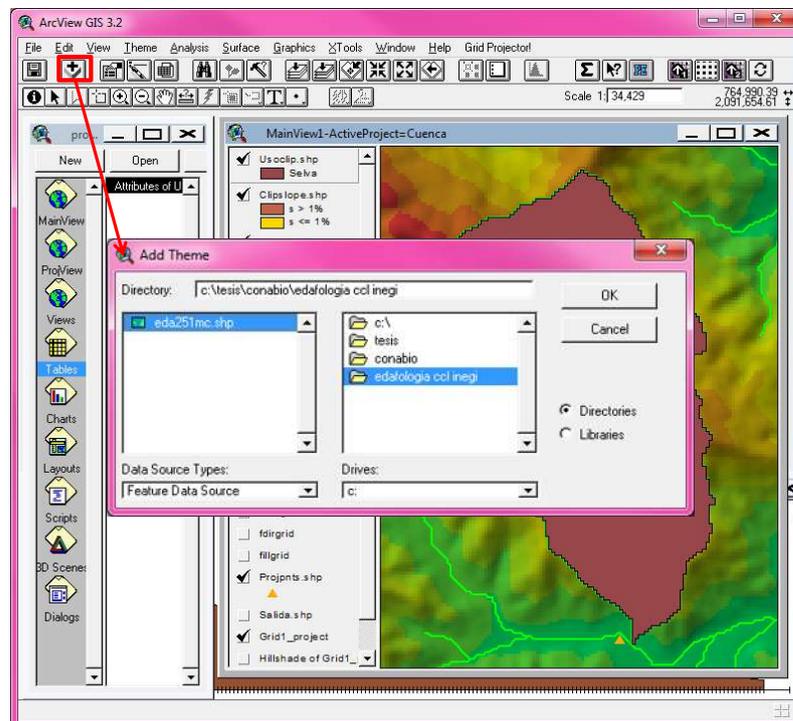
número que esté en la columna "Label" (Etiqueta), recordando la clasificación dada anteriormente, es decir 1 es para "Bosque", 2 para "Selva", etc. En este caso sólo tenemos selva. Es recomendable que el lector tenga anotado en documento impreso la clasificación que está utilizando en el presente proyecto para evitar errores en la asignación.



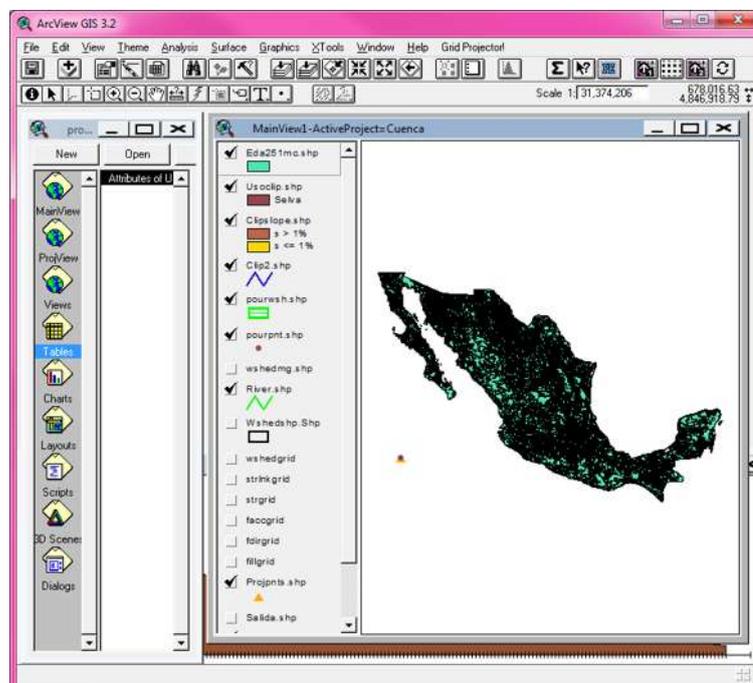
Se pueden asignar otros colores relacionados con el tipo de uso de suelo para identificarlo fácilmente en la figura, pero solo es cuestión de visualización. El resultado es el mapa de uso de suelo y vegetación del INEGI pero acoplado al sitio de interés.



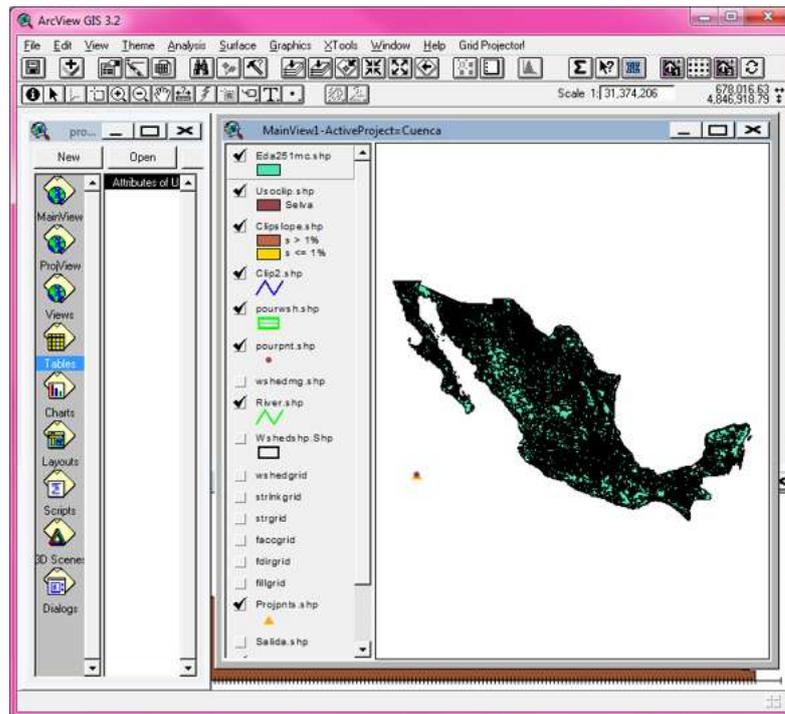
Lo siguiente es agregar mapa de edafología descargado de CONABIO.



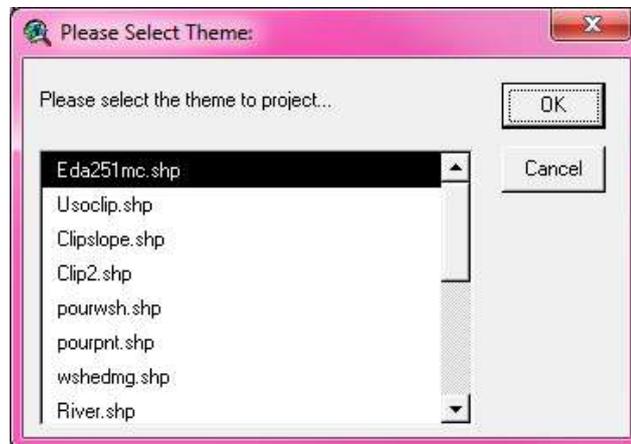
Al activarlo puede no visualizarse en pantalla entonces se le hace un acercamiento.



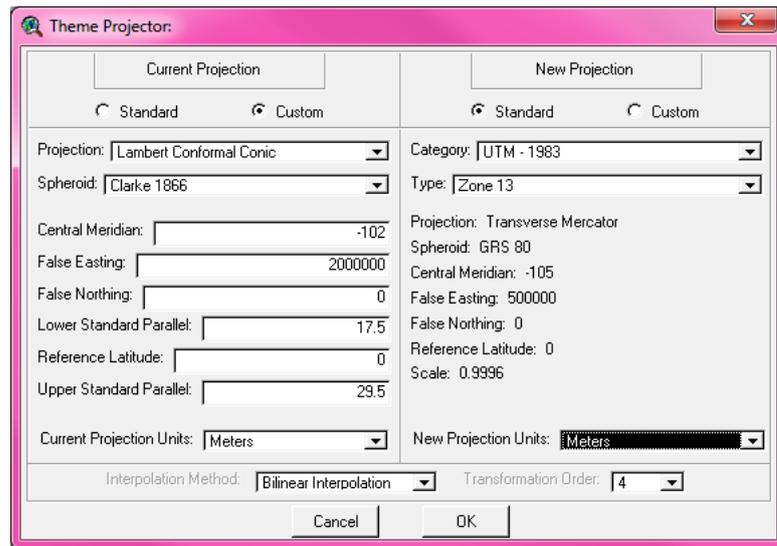
Se observa nuevamente que el punto marcado como salida de la cuenca queda fuera del mapa, requiere cambiar la proyección del mapa también ya que las de CONABIO no son las mismas que las de INEGI.



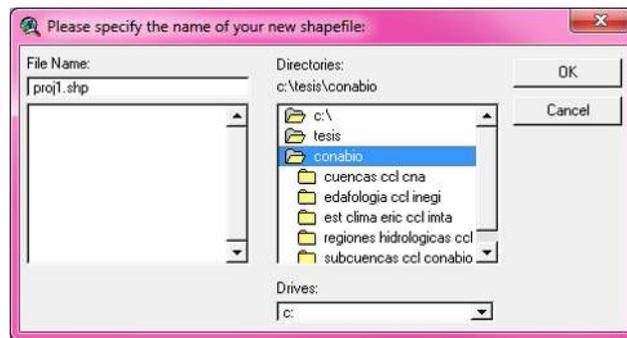
Entonces se usará la función **“Grid/Theme Projector”**. Se selecciona el tema a convertir en este caso es **“Eda251mc”**.



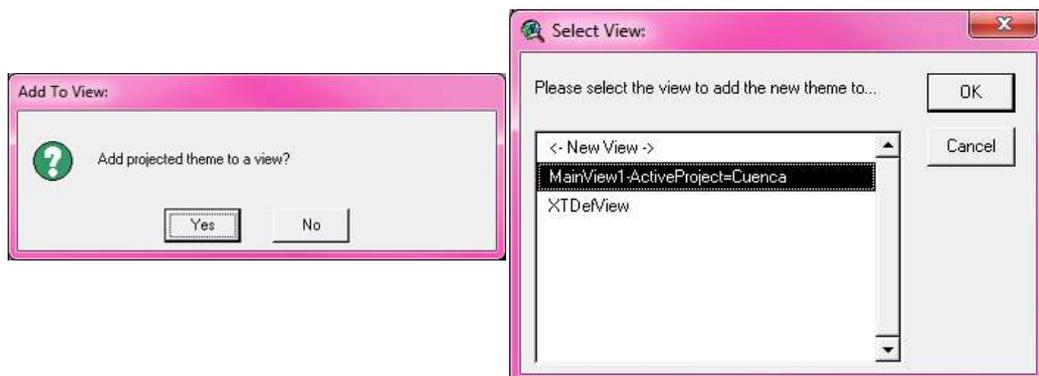
En la siguiente ventana del lado izquierdo se selecciona en la celda **“Category”** la opción **“Projections of a Hemisphere”** después se da clic en **“Custom”** con lo cual cambia la celda **“Category”** a **“Projection”** y en esta se selecciona **“Lambert Conformal Conic”** y en la celda inferior que también cambió a **“Spheroid”** se selecciona **“Clarke 1866”**, en las casilla inferiores se ingresan los datos geodésicos. En el lado derecho cambiamos la categoría a **“UTM-1983”** y elegimos la zona 13. También se cambian las unidades a metros en ambas partes.



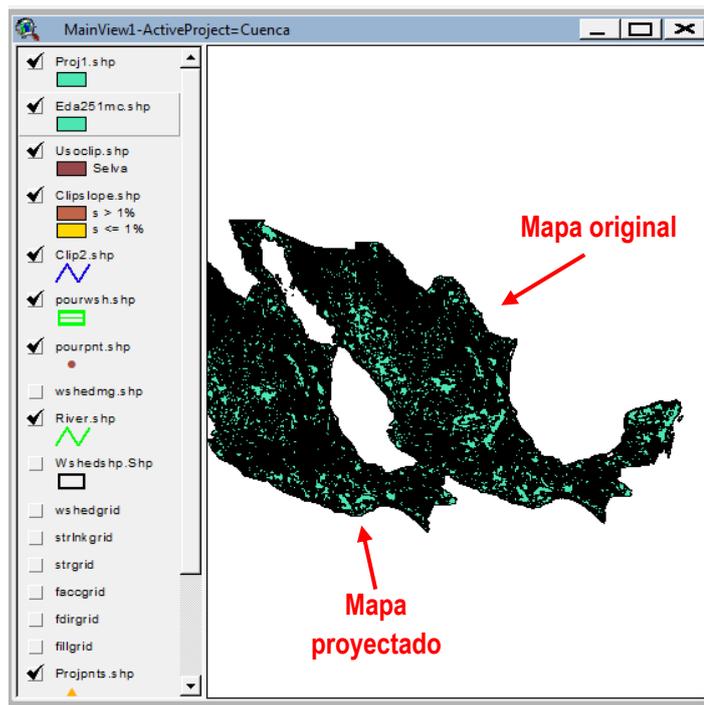
Hay que guardar el shape que se generará.



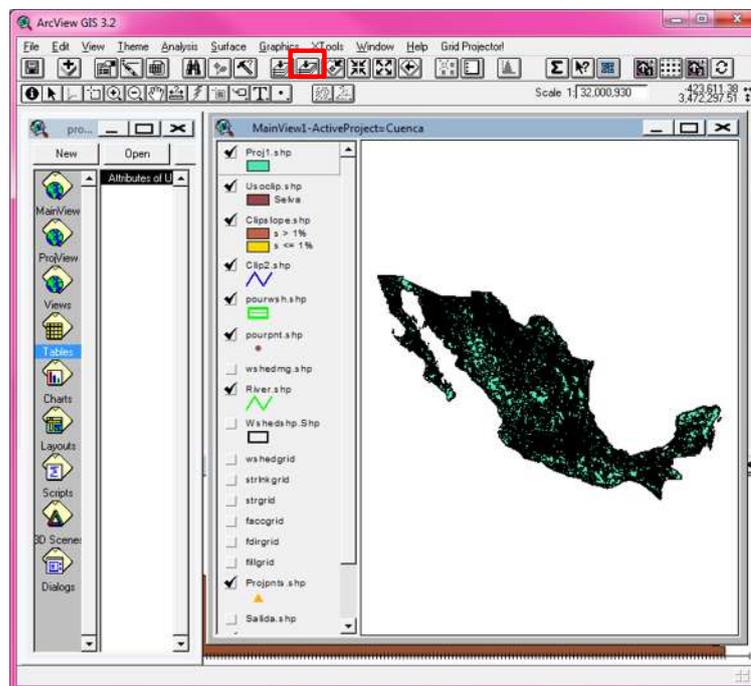
 Recordar que antes de agregar el tema a **MainView** es mejor no tener otros programas abiertos durante este proceso.



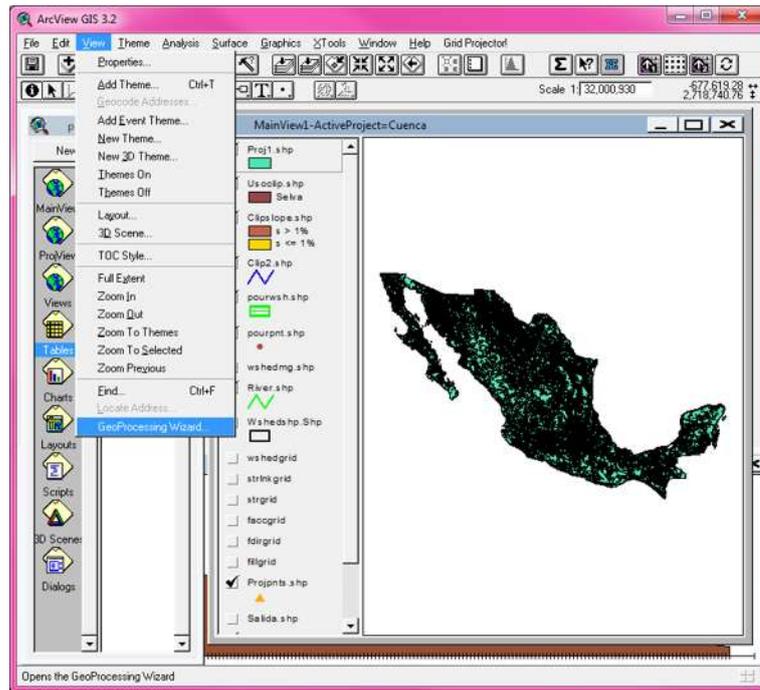
Al finalizar el proceso se observará el mapa de la siguiente forma. Se puede borrar el mapa de edafología original debido a que ya no es necesario al haber generado su proyección.



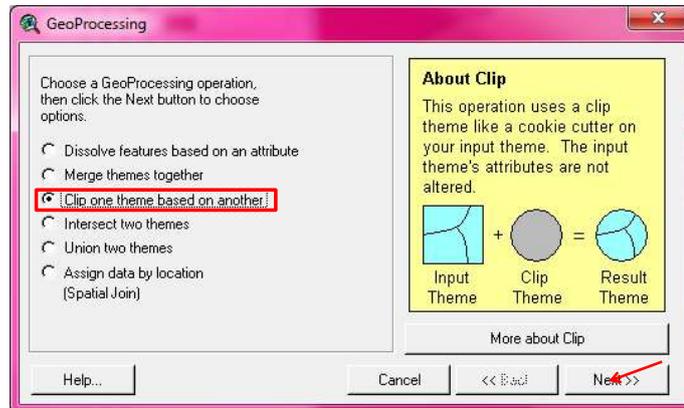
Se hace un acercamiento para apreciar mejor el shape del mapa.



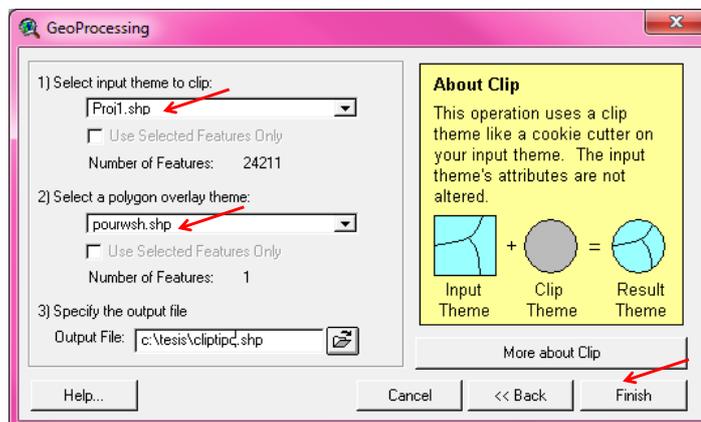
Se hará el corte del mapa edafológico acoplado a la zona de estudio en base a la cuenca delimitada, esto con la función “GeoProcessing Wizard”. Se realiza de la siguiente manera.



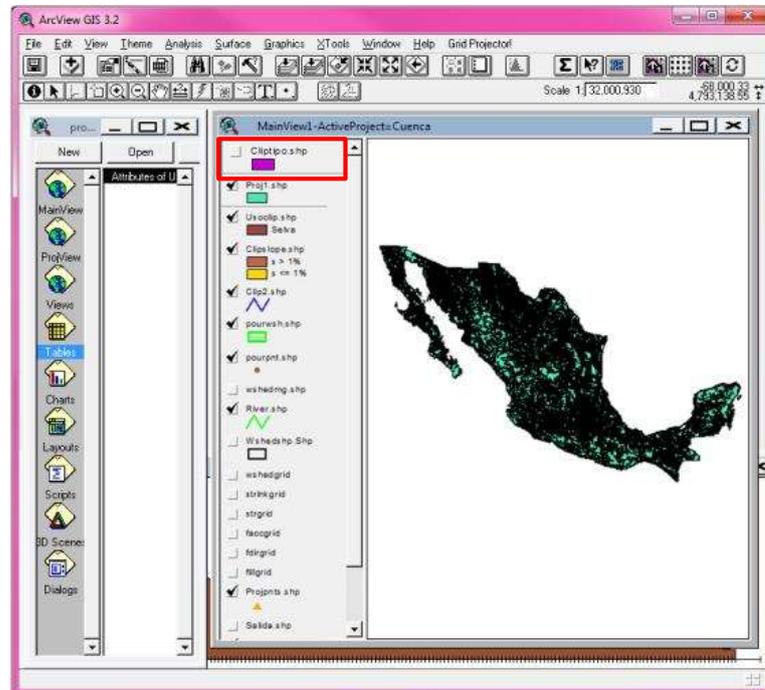
Se indica la operación a realizar.



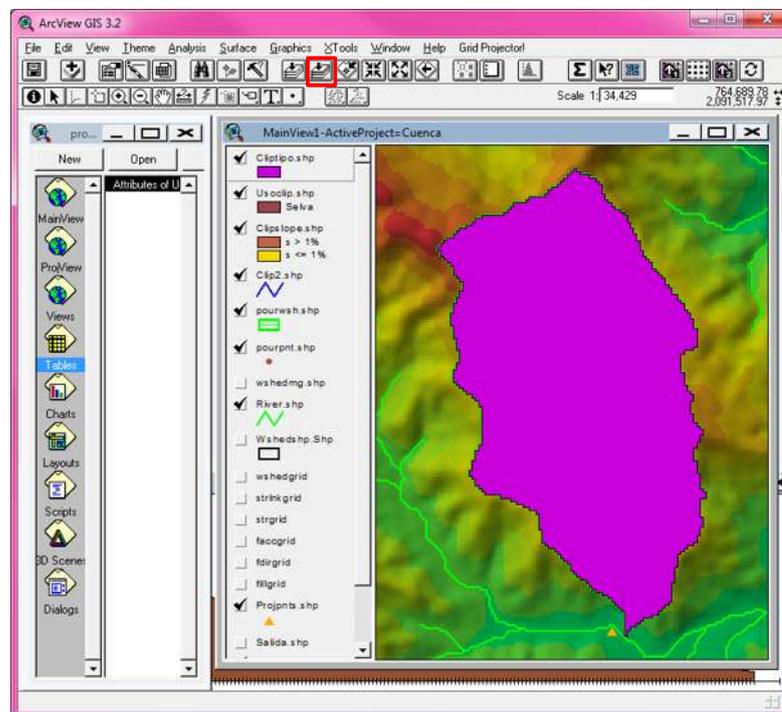
Se eligen los temas a combinar.



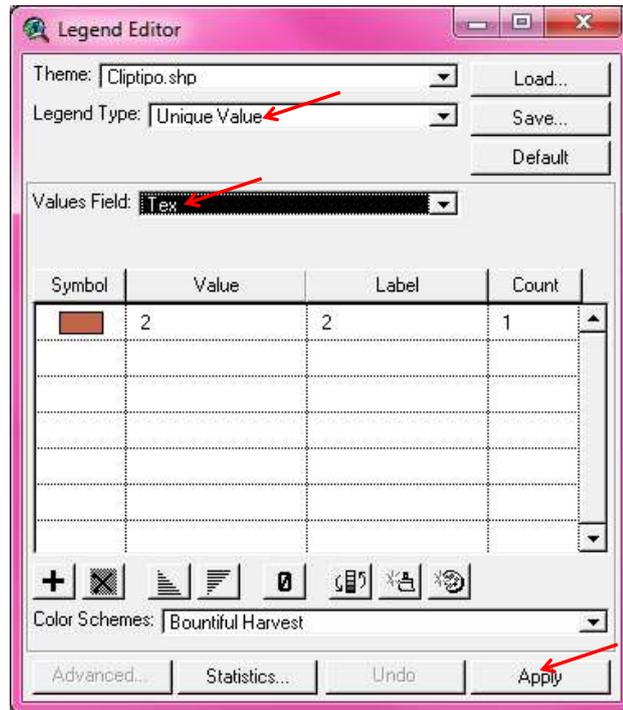
Al terminar el proceso se genera un nuevo shape al que se nombró “cliptipo”. Puede borrarse el shape del mapa edafológico proyectado.



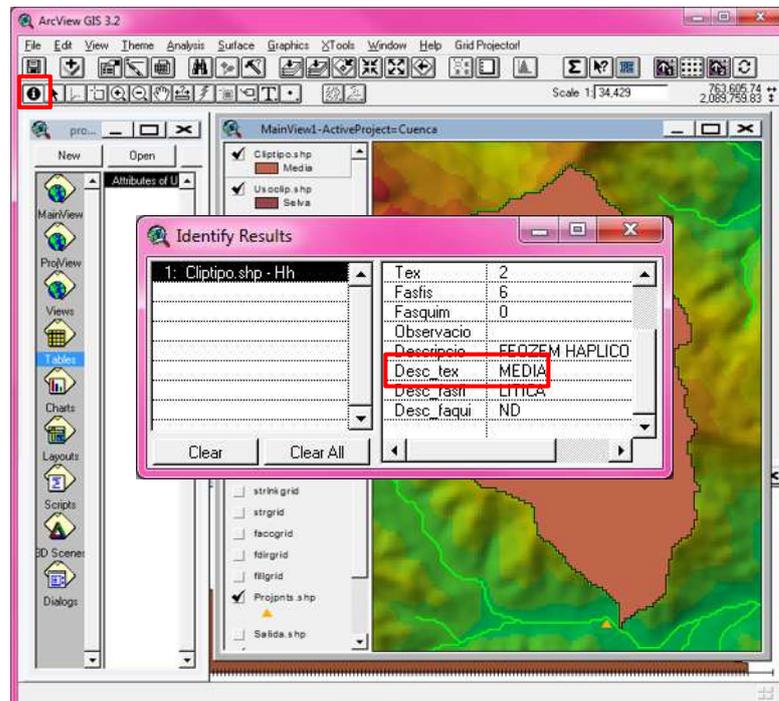
Se hace un acercamiento al corte.



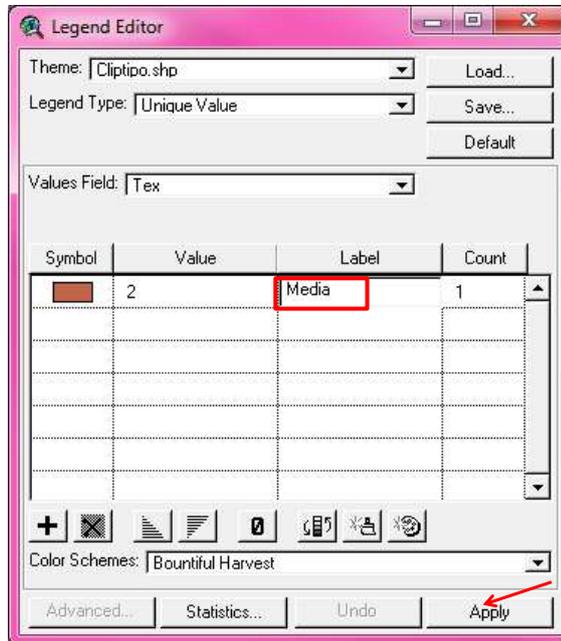
Se abre la ventana “Legend editor” del shape generado en el paso anterior, se basarán los valores en un valor único esto en la celda “Legend Type” en seguida se elige Tex en “Values Field” y se aplica. Recordar guardar el proyecto.



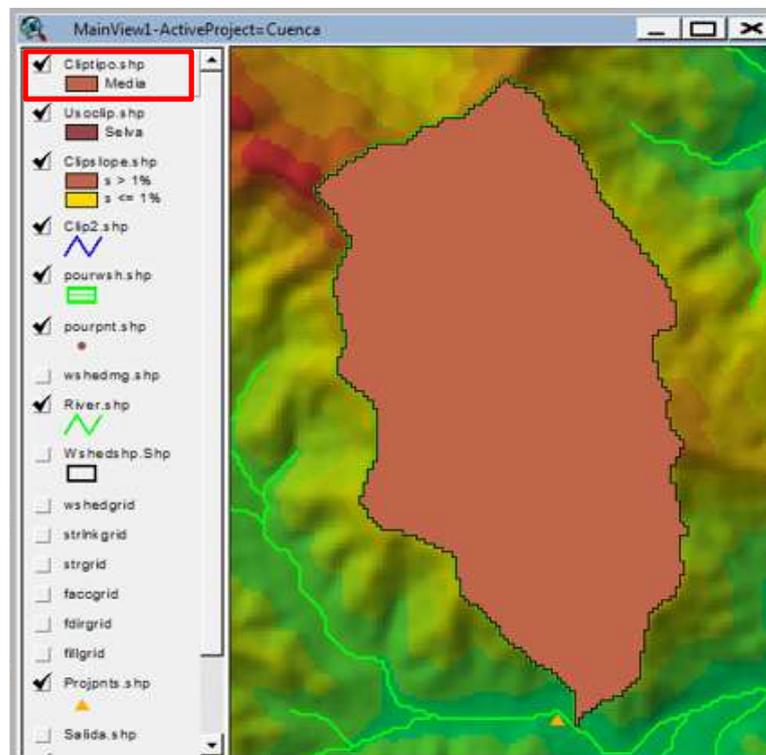
Ahora con el ícono “Identify” (*Identificar*) y dando clic en cada textura del corte se pueden observar las propiedades de las mismas. Se debe tomar nota sobre el dato contenido en la celda “Desc_Tex” ya que permitirá a partir de los libros de texto asignar el número de escurrimiento que se usará en los cálculos hidrológicos.



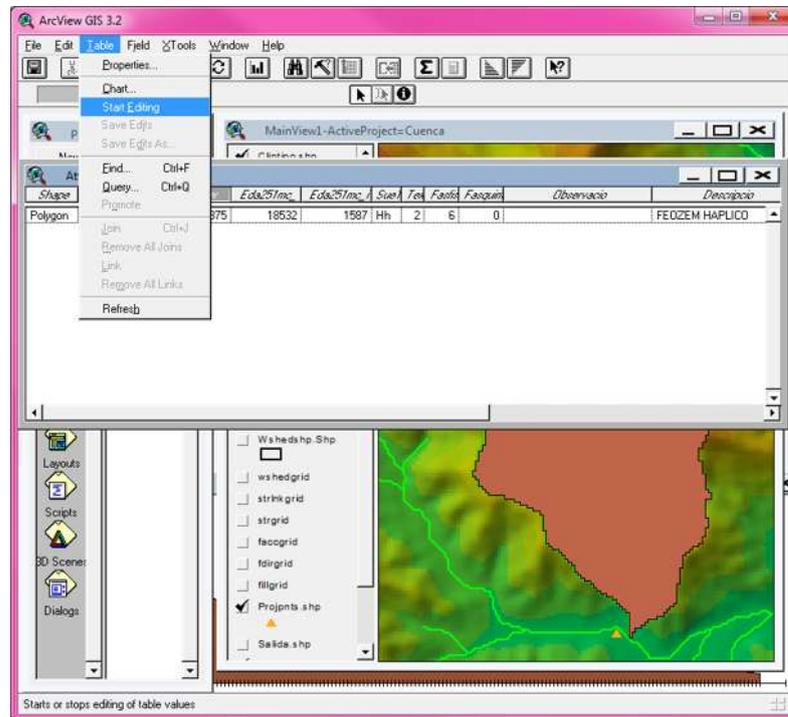
Se abre nuevamente la ventana “**Legend editor**” y el dato observado de la celda “**Desc_tex**” se ingresa en la columna “**Label**” (*Etiqueta*) para poderlo identificar sobre el mapa generado, esto se hace para cada fila, en este caso sólo es una.



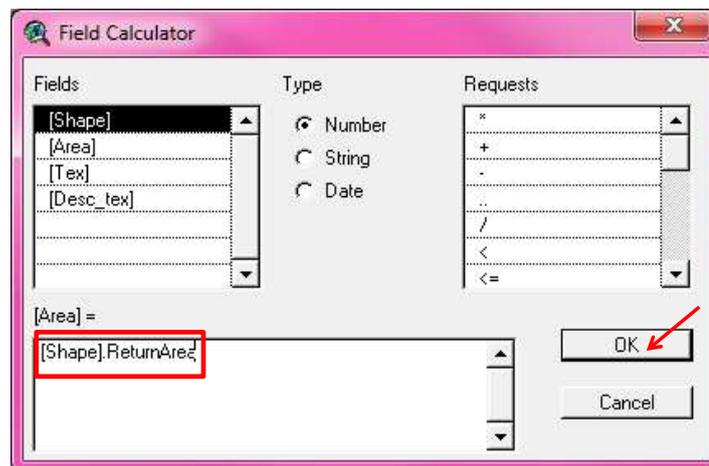
El resultado es el siguiente, apreciando la modificación en las texturas del corte donde indica la clasificación edafológica.



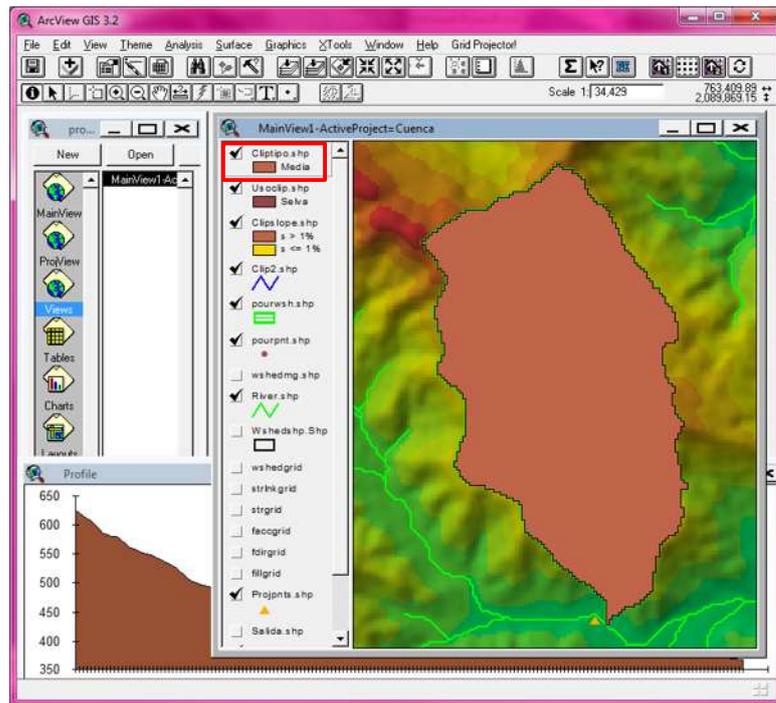
Se abre la tabla de atributos del corte del mapa de edafológico para editarla y poder observar la información sobre el mapa generado.



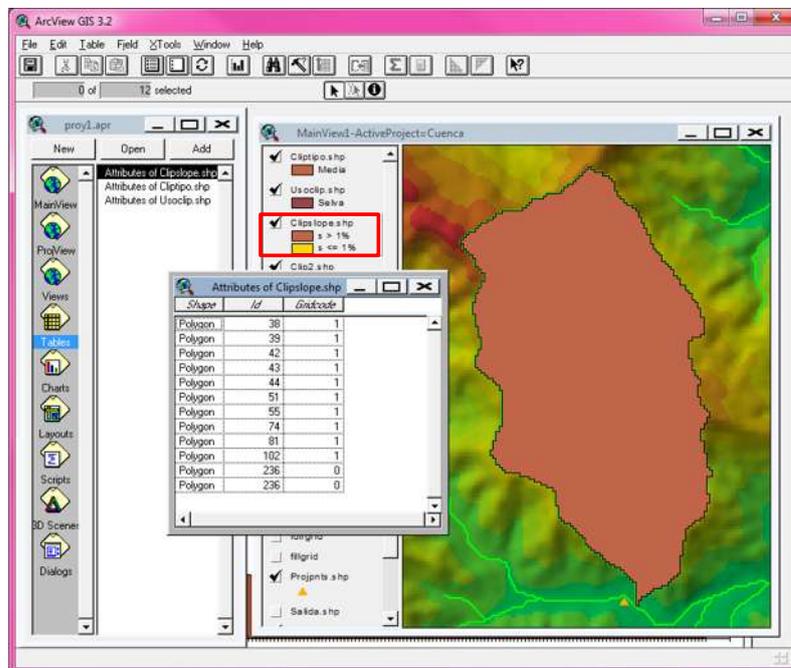
Se borran las columnas que no son necesarias y se procede a calcular el área con el ícono “Calculate” e ingresando el comando “.ReturnArea” (Colocar el punto decimal antes de indicar el comando).



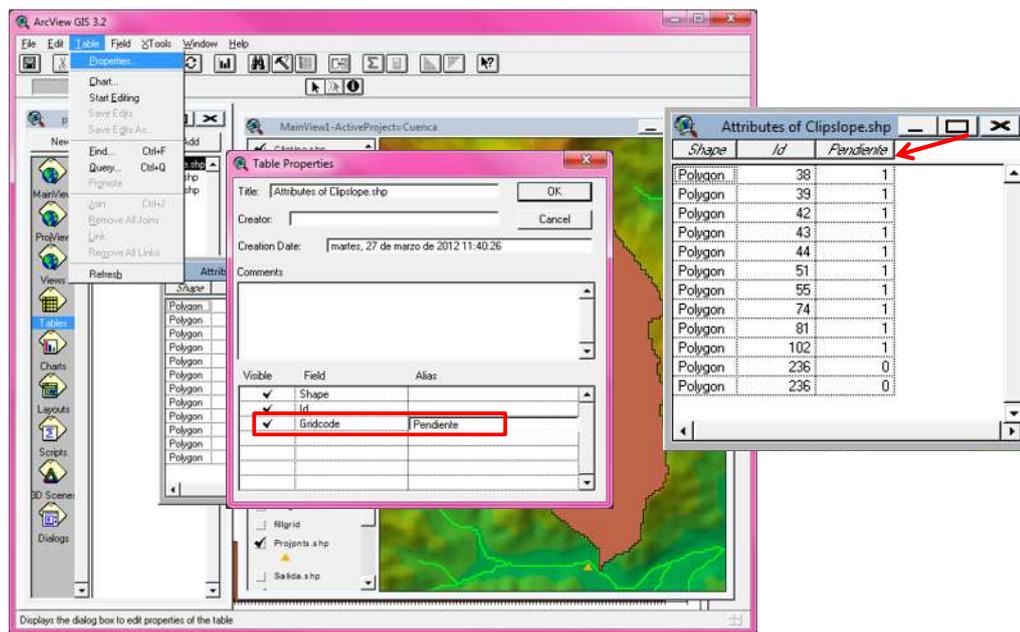
Se aprecia que en la tabla de atributos ya existe la columna “Tex” con un valor numérico para cada textura y se puede usar para la clasificación por ello esta vez no se agregó. Se detiene la edición y se guardan cambios. Recordar guardar el proyecto.



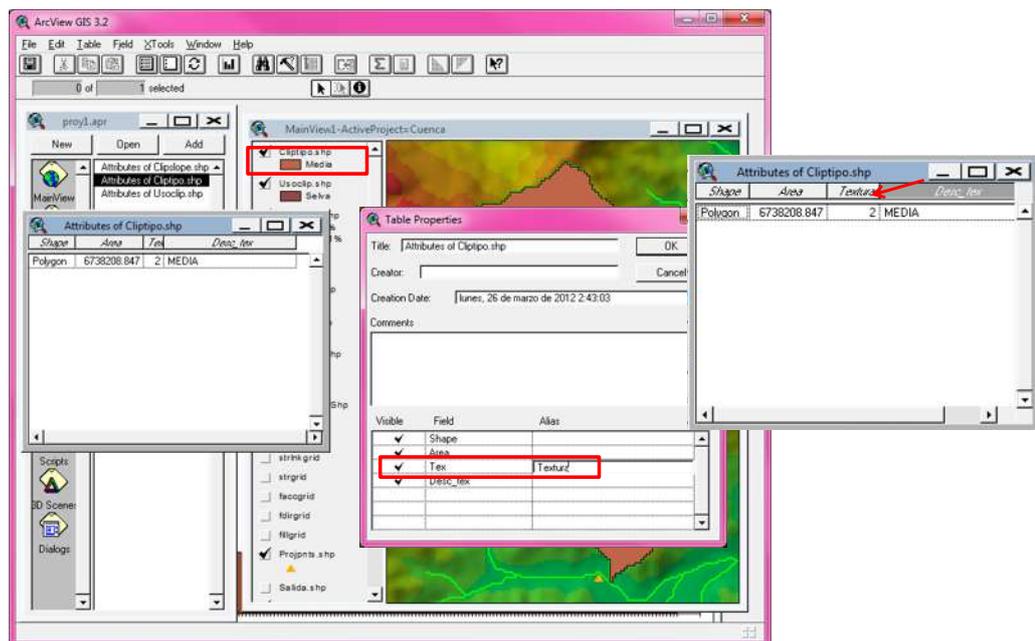
Regresando al corte del mapa de pendientes clasificadas “Clipslope” se abre su tabla de atributos y a su vez la tabla de propiedades de la misma “Table Properties”, en la cual se coloca el alias de “Pendiente” al “Gridcode”.



Se observa ahora este nombre en la tercera columna de la tabla de atributos.

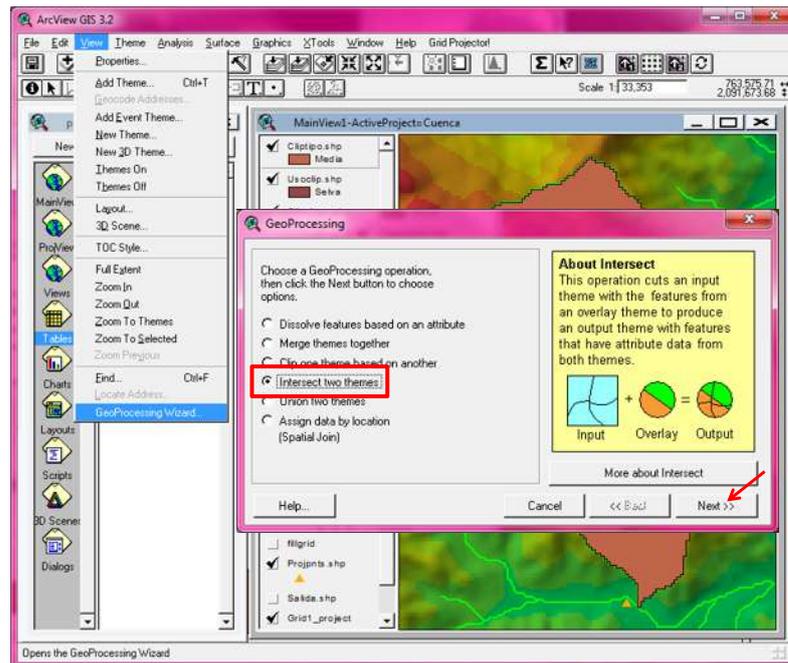


Ahora se hace lo mismo para el corte del mapa de edafología "Cliptipo" sólo que en este corte se asigna el alias "Textura" a la celda "Tex".

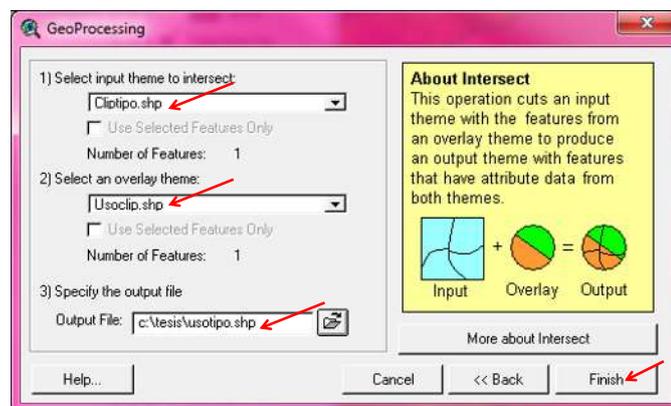


Para el corte de tipo de uso de suelo no es necesario hacer modificaciones ya que se hicieron previamente.

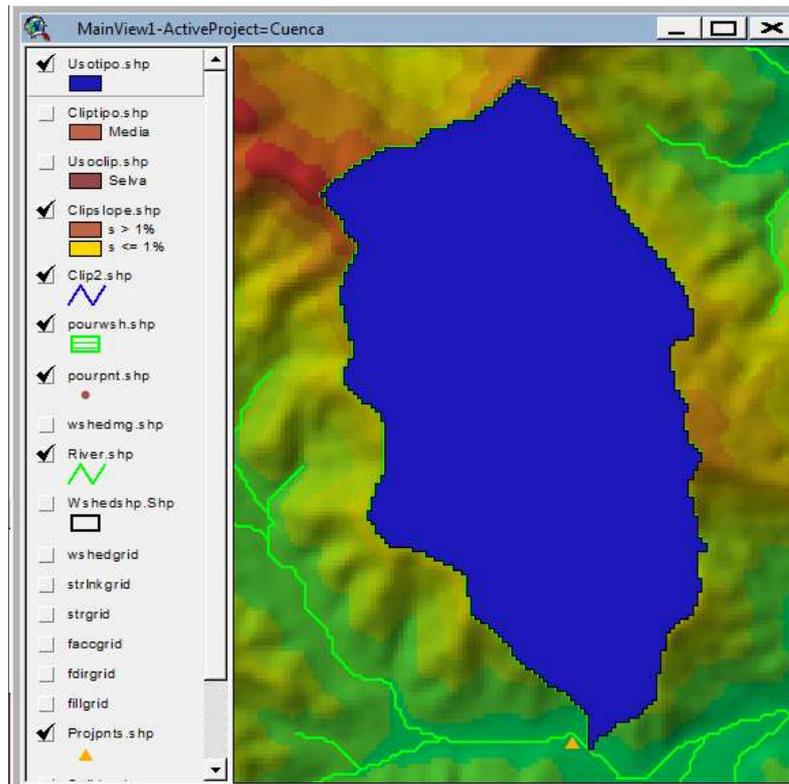
Se hará nuevamente un corte con la función "GeoProcessing Wizard". Esta vez se intersectan dos temas por tanto se elige la opción "Intersect two themes".



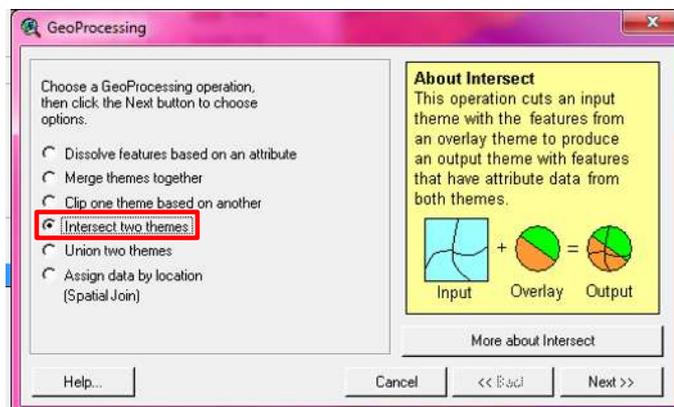
Los temas a combinar son los cortes de los mapas de uso de suelo y de edafología es decir, “Cliptipo” y “Usoclip”, al shape que se generará se le nombró “usotipo” que es la combinación de ambos.



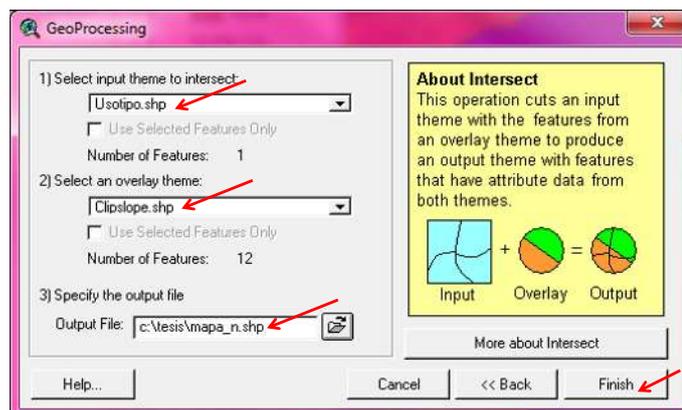
Se activa el tema y se observa lo siguiente.



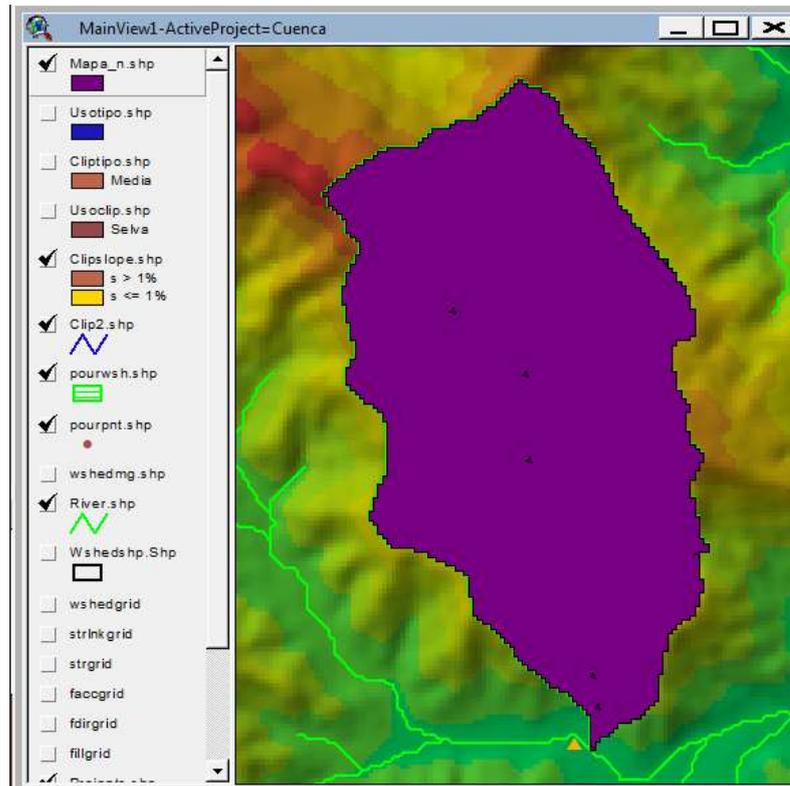
Se hará un nuevo corte nuevamente intersectando dos temas.



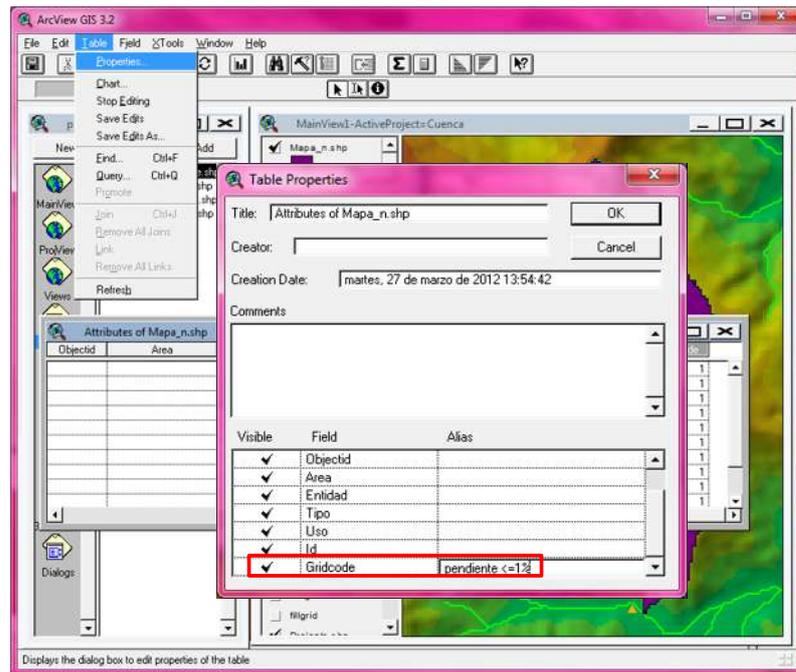
Los temas deben ser el corte de la combinación del uso y tipo de suelo "Usotipo" y el corte del mapa de pendientes clasificadas "Clipslope".



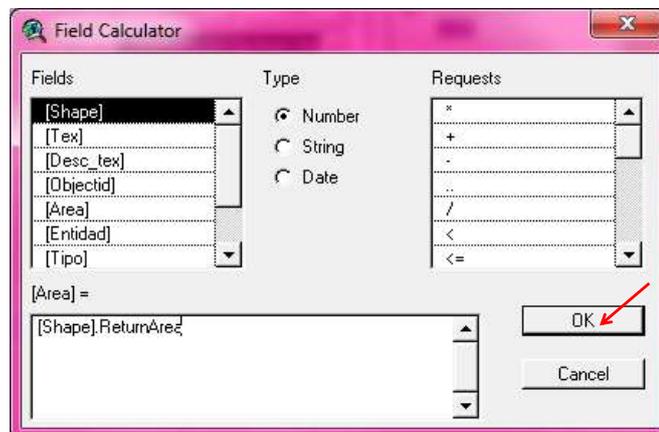
Se nombró al shape generado “*Mapa_n*” debido a que nos permitirá asignar los números de escurrimiento de acuerdo con la tabla 7.3 del libro “Fundamentos de Hidrología de superficie” del autor Francisco Javier Aparicio Mijares a partir del uso y cobertura de la tierra, pendiente del terreno y porcentaje y tipo de suelo acorde con su textura . Al activarlo se muestra lo siguiente. Recordar guardar el proyecto.



Ahora se editará la tabla de atributos del shape generado y se elimina la columna “*Area_*”. En la tabla de propiedades se agrega el alias “pendiente <=1” al campo “**Gridcode**”.



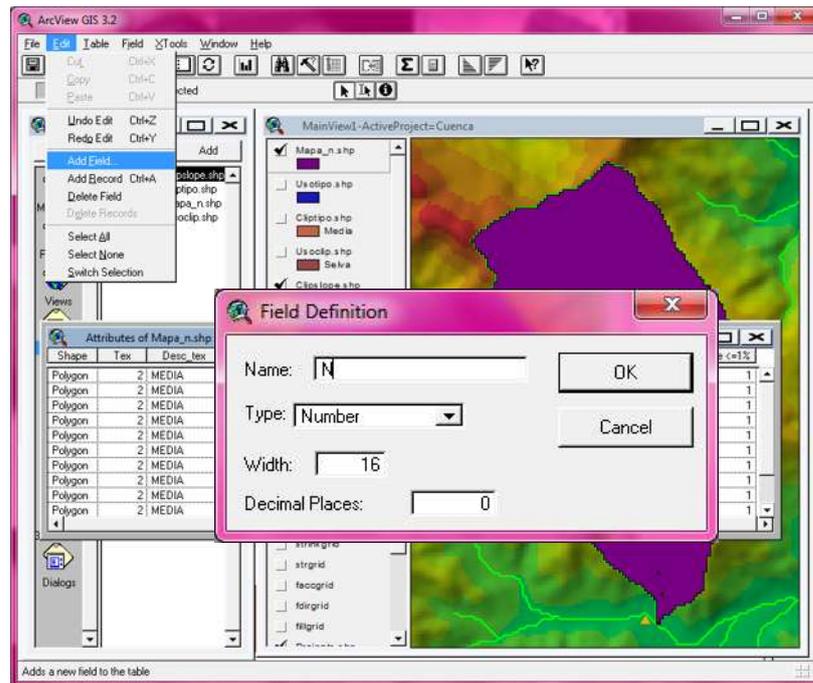
Se calculará el área con el ícono “**Calculate**” con la columna “**Area**” seleccionada. Recordando el proceso, se selecciona el shape y se ingresa el comando “.ReturnArea” (Colocar el punto decimal antes de indicar el comando).



Al dar clic en “**OK**” se observará que el campo del área en la tabla de atributos cambia su valor (puede ser que esta diferencia no sea considerable de acuerdo con el MDE que se esté trabajando).

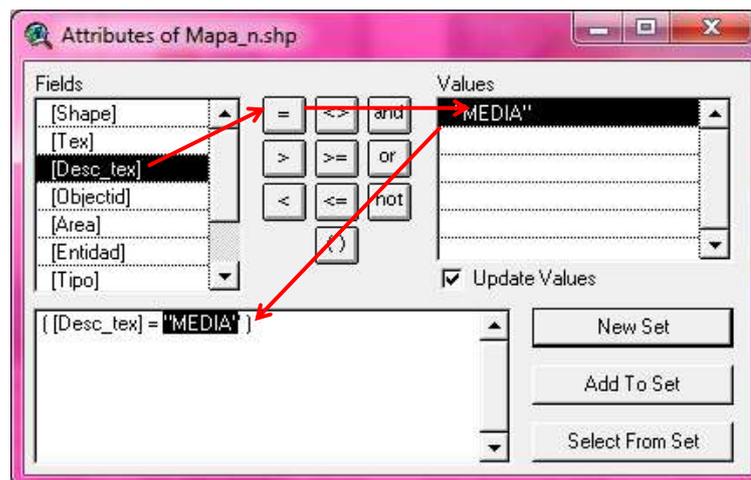
16. Determinación de los números de escurrimiento

Lo siguiente es agregar el campo “N” es decir el número de escurrimiento en la tabla de atributos del shape generado previamente “*Mapa_n*”.

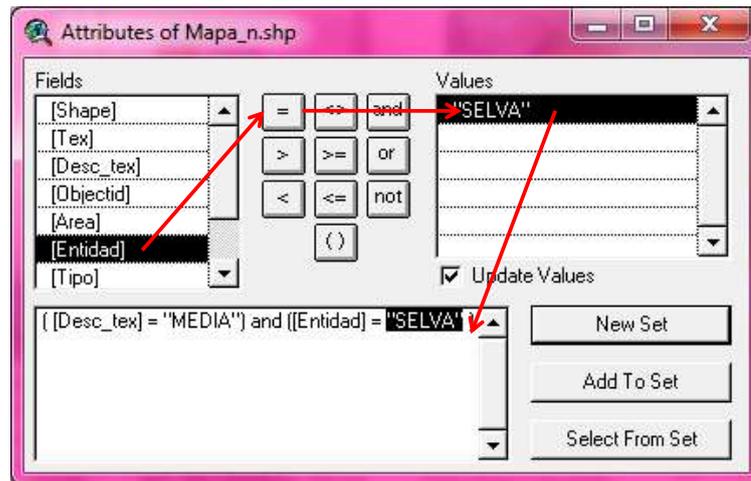


Ahora se activa el campo “N” dando clic, se editará con la herramienta “**Query Builder**” (*Generador de consultas*) empleada para seleccionar sub-shapes que cumplen con algún criterio. Emergerá una ventana donde se harán las combinaciones con las propiedades.

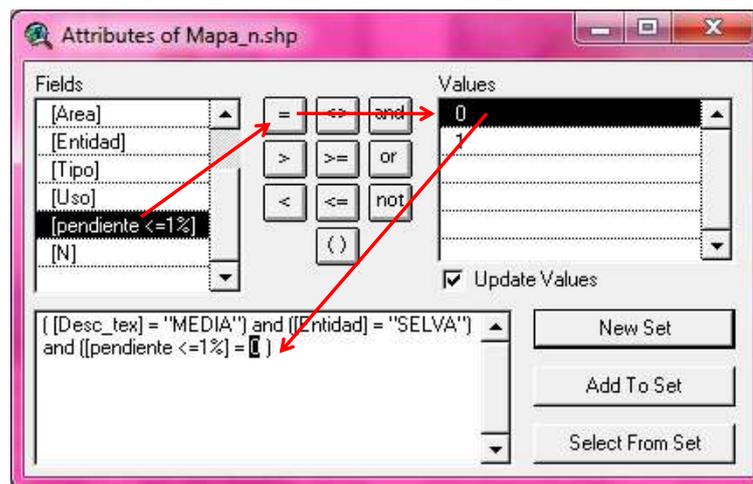
Se empieza seleccionando la textura del suelo en el campo “**Desc text**” y después de oprime la tecla “=” y se selecciona el valor de la textura de suelo, dependiendo de la zona en estudio pueden aparecer estas opciones: *fina, media y ND* (no disponible).



En seguida se da clic en “**And**” para agregar otra condición, ahora será el uso del suelo y es el campo “**Entidad**”, igual que el paso anterior la cantidad de opciones depende del área de estudio. Se da clic en “=” y como se aprecia nuevamente sólo se tiene una opción.



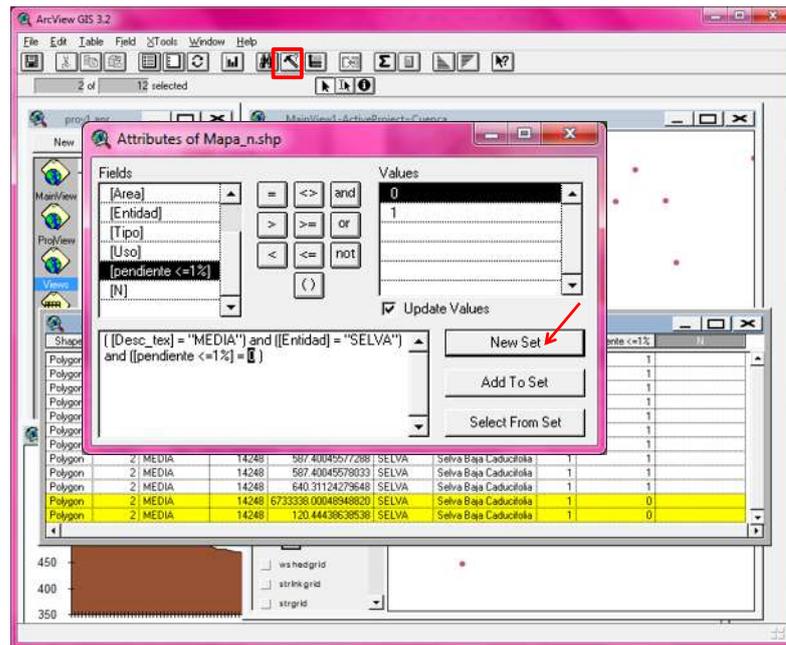
Sólo resta seleccionar el campo de la pendiente, esto se hace de la misma forma. Ahora se aprecia que hay valores para la pendiente de 0 y 1, se selecciona 0 porque la pendiente es menor o igual a 1 en el mapa como se ve en el nombre de dicho campo.



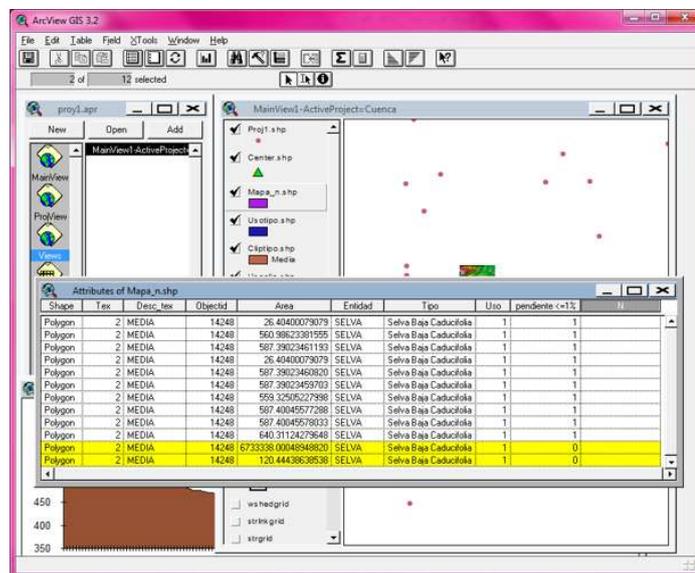
Una vez seleccionados los campos con sus respectivos valores se da clic en **“New Set”** generando así la primera combinación. La cantidad de combinaciones dependerá de la cantidad de usos de suelo existentes, tipos de suelo asociados en combinación con la clasificación de pendientes. Se recomienda al lector que defina previamente todas las posibilidades de tal manera que pueda analizar el área completa de la cuenca delimitada evitando así errores en la asignación de los números de escurrimiento y por ende en el cálculo del gasto de diseño o bien los hidrogramas. En todos los casos se debe seguir la siguiente secuencia:

([Desc_tex] = **“TIPO DE SUELO”**) and ([Entidad] = **“USO DE TIERRA Y COBERTURA”**) and ([pendiente <=1%] = **“CLASIFICACIÓN”**)

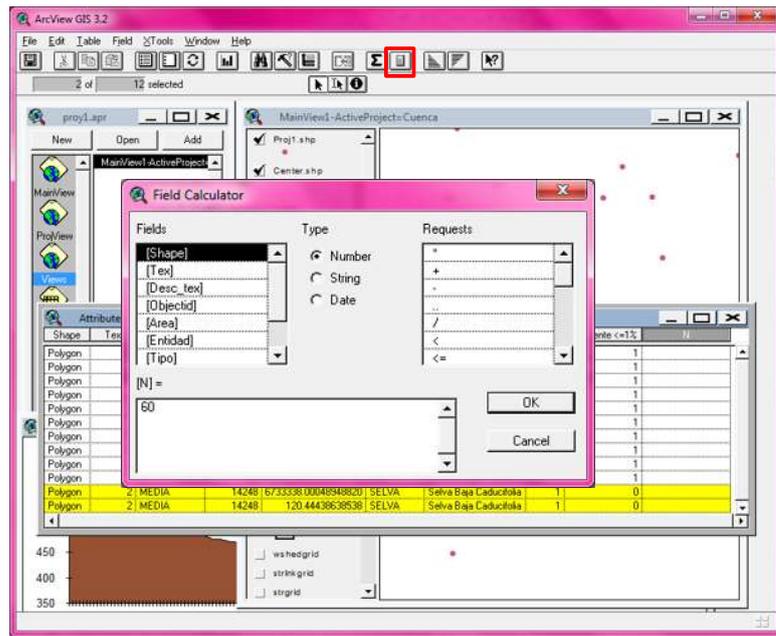
En la instrucción anterior el nombre de las primeras dos propiedades están asignados desde los shapes originales mientras que el nombre de la tercera queda a criterio de quien realiza el trabajo por lo tanto debe tenerse cuidado al momento de indicarla.



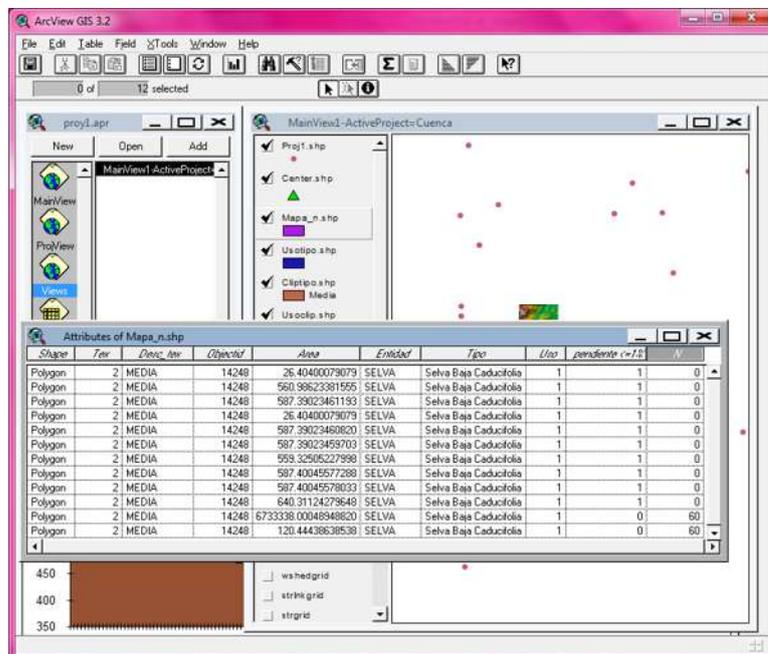
Se debe verificar en la tabla de atributos que haya selecciones distintas porque si sucede lo contrario significa que no se cumple el criterio de la herramienta usada **“Query”** y el programa elige todo por default. Observando en el mapa de color amarillo las áreas seleccionadas que cumplen con el criterio asignado.



Lo siguiente es asignarle un valor a **N** (*Número de escurrimiento*) de acuerdo a lo expuesto en los libros de texto. El valor de **N** para un suelo de textura *media*, de uso de suelo del tipo *selva* y con pendiente de *cer*o, es de **60**. Se da clic en el icono **“Calculate”** y en la ventana que aparece se escribe el valor asignado a **N**. Después de dar clic en **OK** se observará que solamente lo seleccionado cambia en dicho valor. Para este ejemplo todo cumple con los criterios de esta primera combinación ya que es un área muy pequeña. Se debe realizar la misma secuencia para las combinaciones posibles.

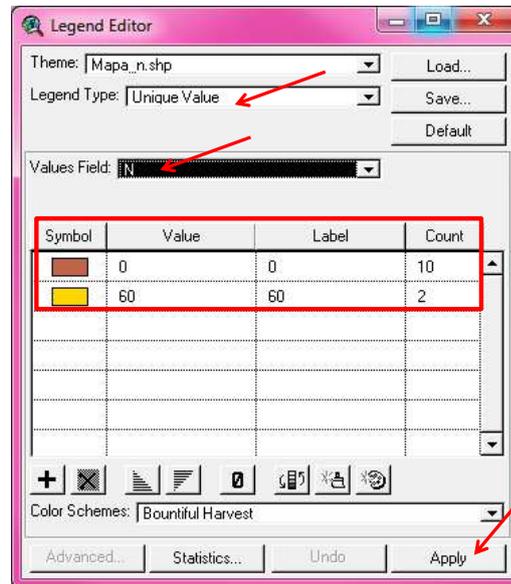


Recordar que lo seleccionado se verá amarillo para liberarlos se debe utilizar el icono “**Clear selected features**”. Y se repite el procedimiento para todas las combinaciones posibles con los valores de textura del suelo, uso del suelo y pendiente. Al finalizar de asignar todos los valores para **N** se detiene la edición de la tabla de atributos del mapa. Recordar guardar el proyecto constantemente.

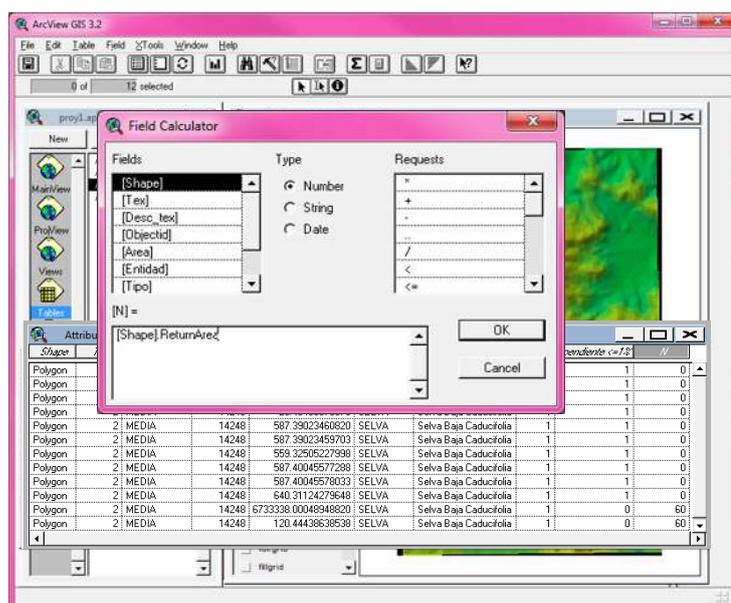


NOTA: Como se observa en la imagen solamente se asignó valor del escurrimiento a las últimas dos filas Arcview por default asignará *cero* a las filas que no fueron editadas, es decir que no se les asignó valor por medio de la herramienta “**Calculate**” habiendo previa selección de propiedades.

En seguida se hará una clasificación en torno a **N**, lo cual se realiza en la ventana “**Legend editor**” del mapa de los números de escurrimiento en este caso se le nombró **Mapa_n**. En la opción “**Legend type**” se elige “**Unique Value**”, después en “**Values Field**” se selecciona “**N**” y aparecerán en la parte inferior todas las combinaciones hechas con un color distintivo. Para el ejemplo sólo resultó una combinación.

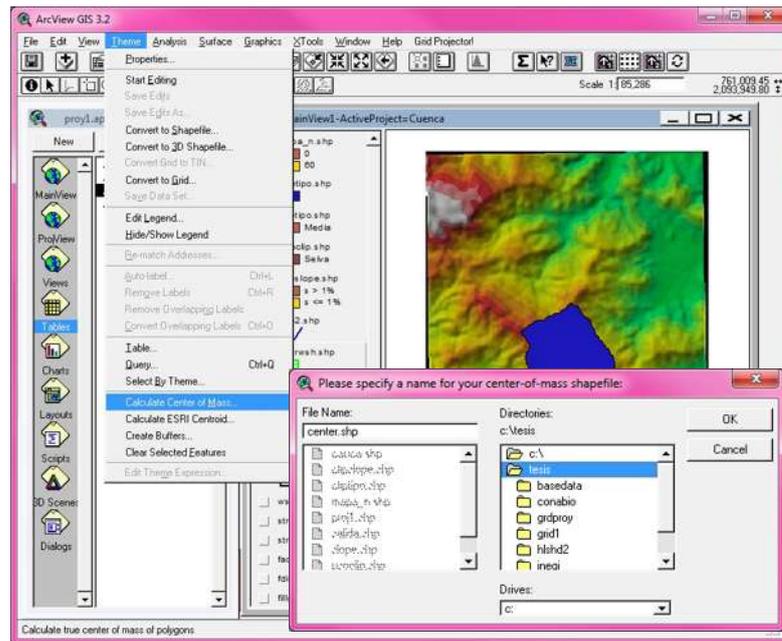


Se inicia la edición de la tabla de atributos del mapa (para abrirla recordar se encuentra en la parte izquierda un ícono llamado “**Tables**” donde se pueden ver las tablas disponibles). Se calculará el área nuevamente, el proceso es dar clic en el ícono “**Calculate**” y seleccionar “**Shape**” e ingresar el comando “.ReturnArea” y se da clic en **OK**. Se verán los nuevos valores en la tabla. Se detiene la edición y se habrá finalizado la asignación de los números de escurrimiento.

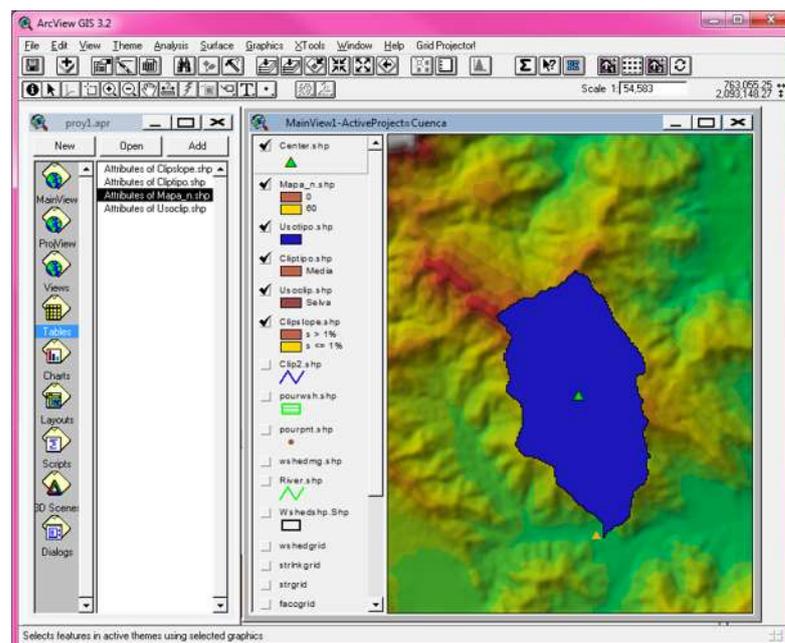


17. Cálculo del centro de masa de la cuenca

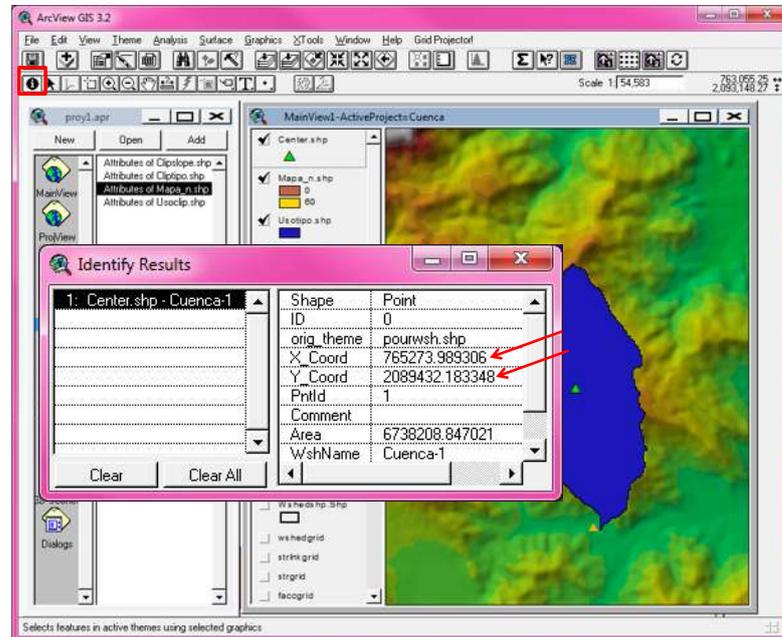
Primero se activa el shape "Pourwsh" que es donde se delimitó la cuenca. En seguida se selecciona la función "Calculate Center of Mass" (Cálculo del centro de masa) en el menú "Theme", recordar que es necesario haber activado la extensión Center of Mass para poder realizar este proceso de lo contrario se debe activar. Se pedirá guardar el shape generado y se hace en la carpeta del proyecto.



Se cambiaron las características del punto generado para apreciarlo mejor.



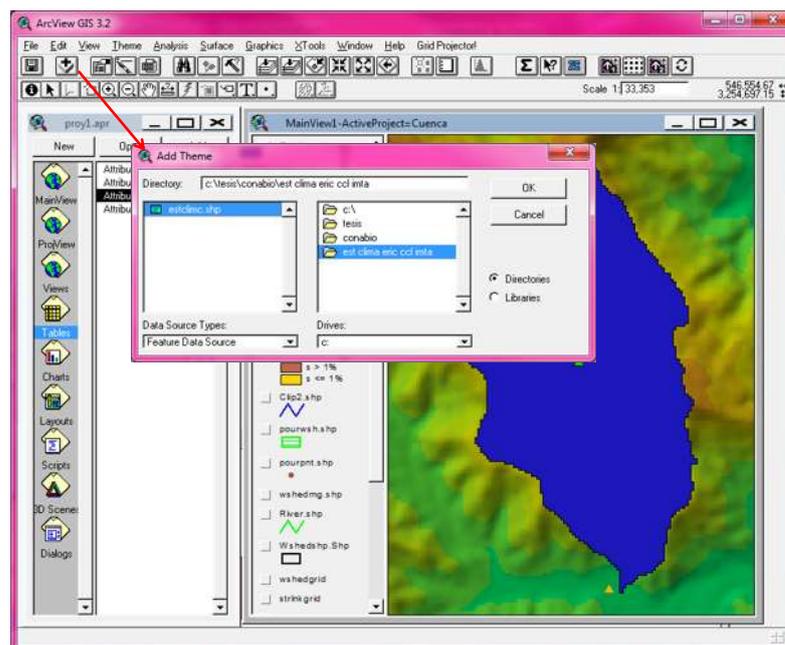
Con el ícono “**Identify**” y dando doble clic en el centro de masa emergerá una ventana donde se podrán ver las coordenadas en UTM del centro de masa. Sólo es para conocerlas ya que las distancias del centro de masa a las estaciones climatológicas se miden directamente.



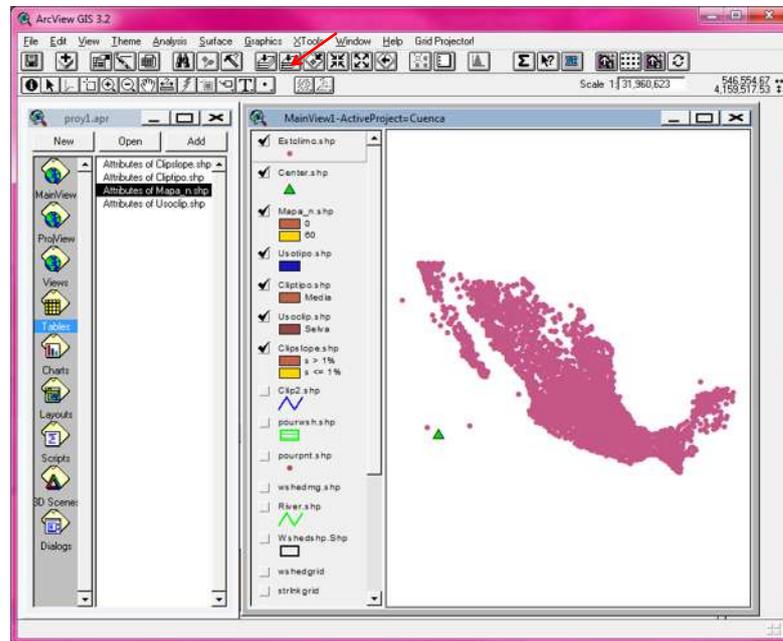
Recordar guardar el proyecto constantemente.

18. Cargando mapa de estaciones meteorológicas

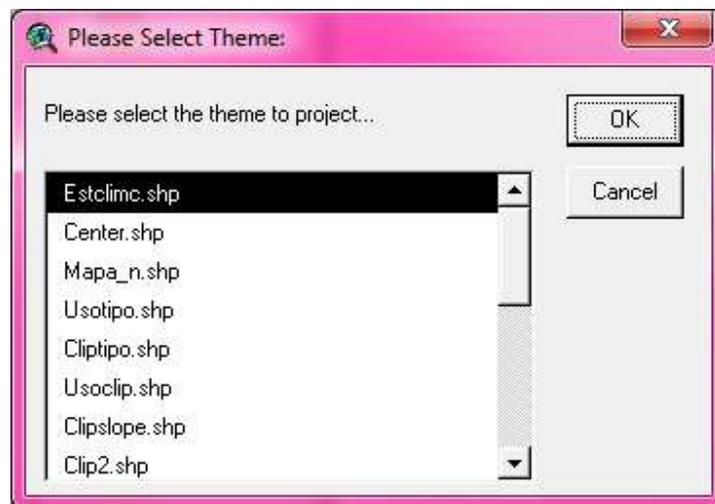
Se da clic en ícono “**Add theme**” y se busca el shape de las estaciones climatológicas de CONABIO.



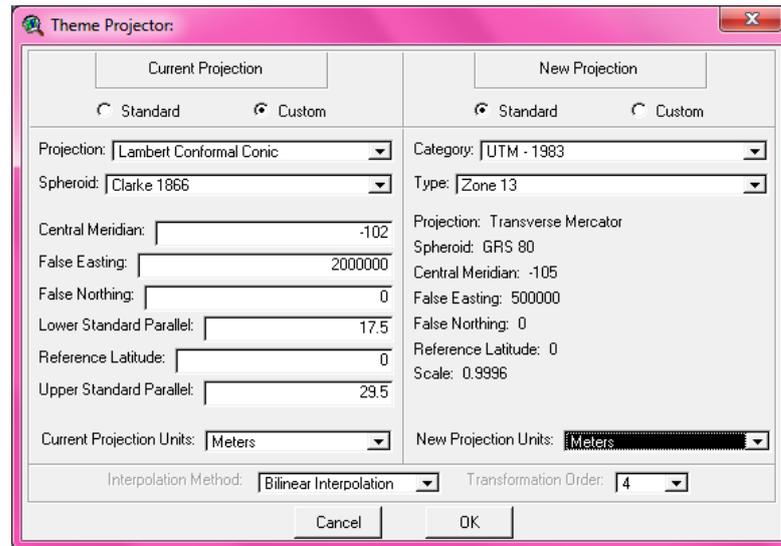
Se hace acercamiento en el tema para apreciar las estaciones.



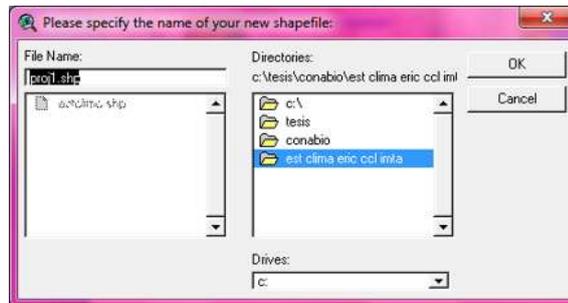
Se observa nuevamente que el punto marcado como salida de la cuenca queda fuera del mapa, requiere cambiar la proyección del mapa también. Se usará la función “**Grid/Theme Projector**”. Se selecciona el tema a convertir en este caso es “Estclimc.shp”.



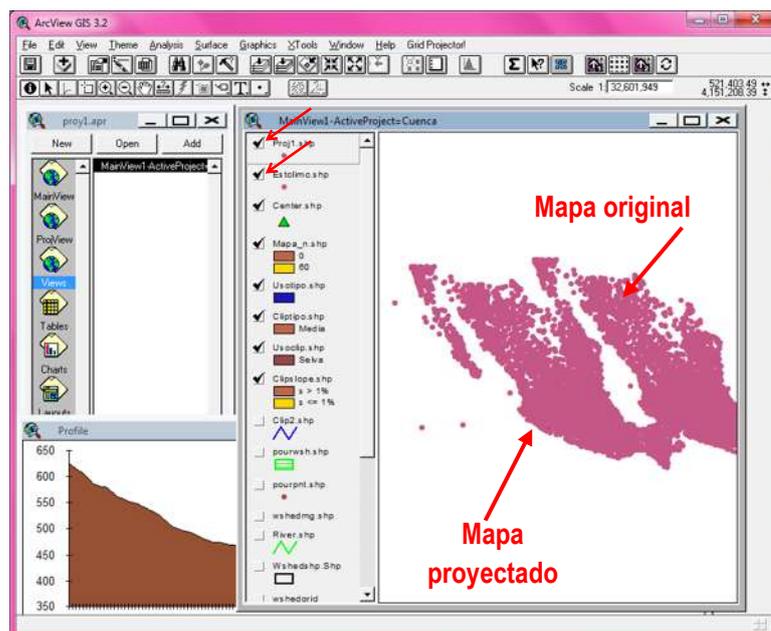
En la siguiente ventana del lado izquierdo se selecciona en la celda “**Category**” la opción “**Projections of a Hemisphere**” después se da clic en “**Custom**” con lo cual cambia la celda “**Category**” a “**Projection**” y en esta se selecciona “**Lambert Conformal Conic**” y en la celda inferior que también cambió a “**Spheroid**” se selecciona “**Clarke 1866**”, en las casilla inferiores se ingresan los datos geodésicos del mapa. En el lado derecho cambiamos la categoría a “**UTM-1983**” y elegimos la zona 13. También se cambian las unidades a metros en ambas partes.



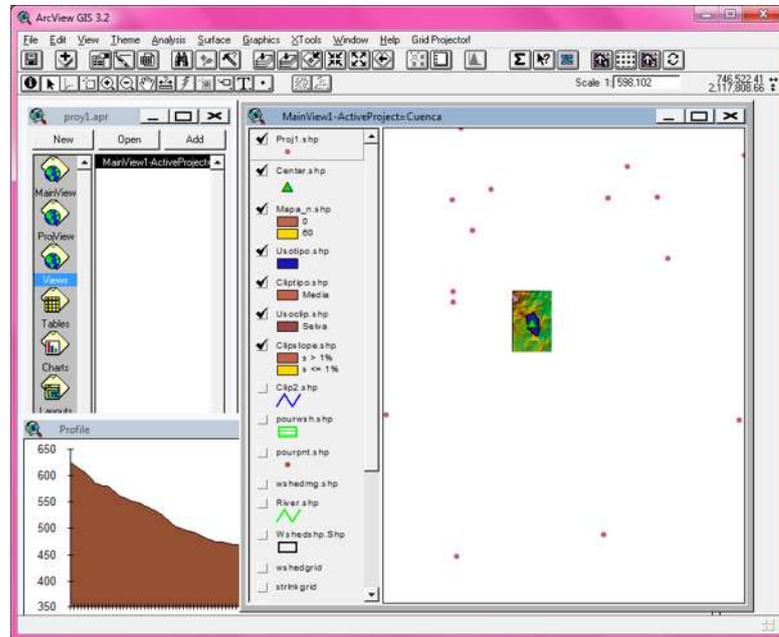
Hay que guardar el shape que se generará.



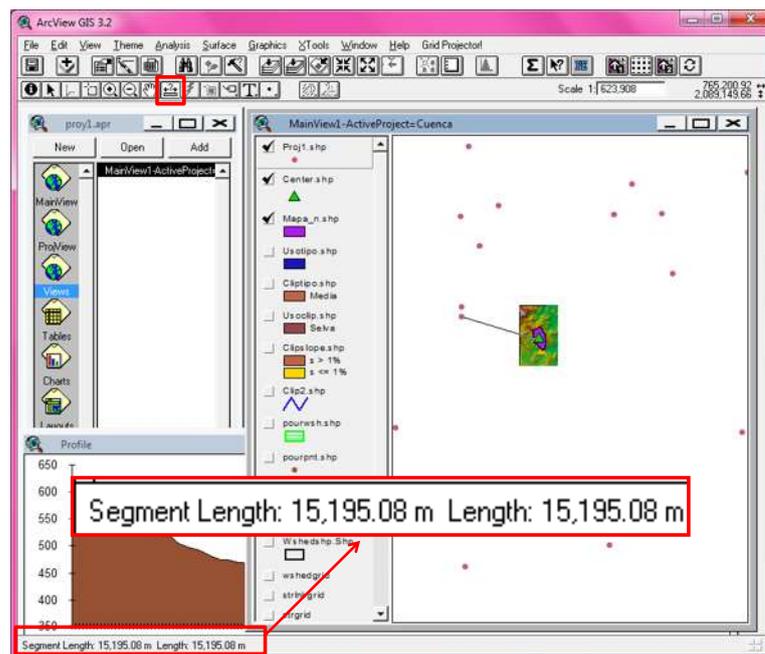
Puede ser que se vean dos mapas con las estaciones esto se debe a que se mantienen activos ambos temas de las estaciones, es decir el original y el proyectado a UTM, sólo es necesario desactivar el original, también se puede borrar para no saturar el espacio además que lo siguiente paso se realiza con la proyección del mapa en UTM.



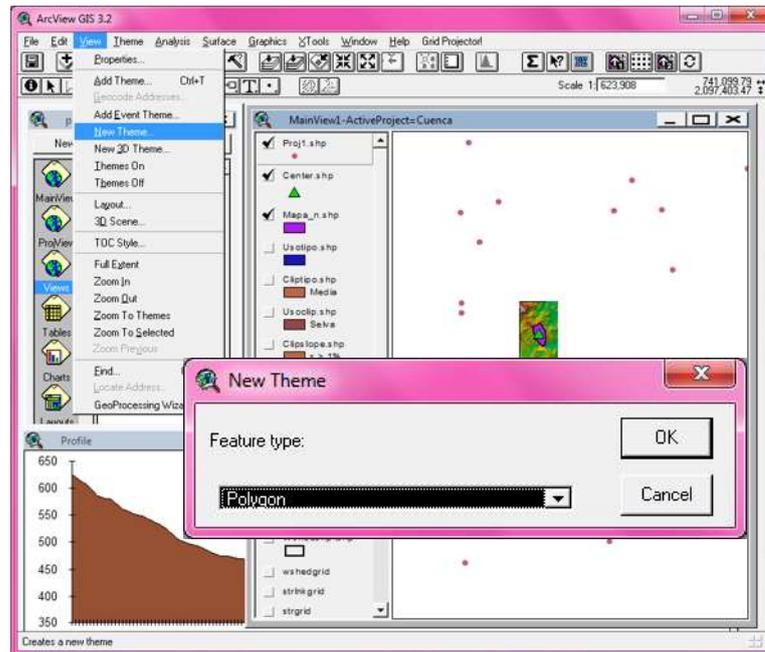
En seguida con el ícono de zoom para una zona dibujada se hace el acercamiento donde está la cuenca delimitada. Se da clic en el ícono y se dibuja un rectángulo en el área de trabajo hasta acercarse a la cuenca y se puedan apreciar las estaciones cercanas.



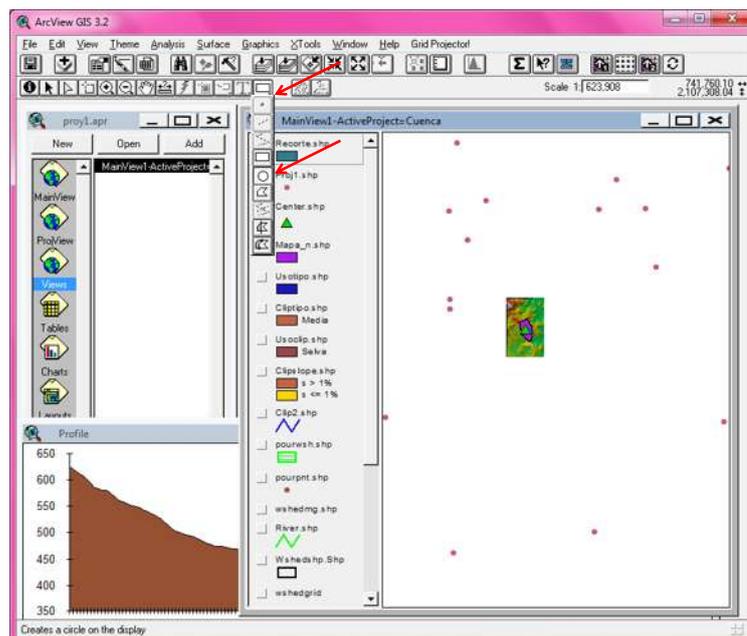
Para que pueda considerarse que una estación meteorológica tiene influencia sobre el área de estudio dicha estación no debe estar a más de 25 Km de distancia del centro de masa de la cuenca delimitada. Por tanto con el ícono **“Measure”** (*Medir*) se tomarán las distancias a las estaciones más cercanas, dando clic en el centro de masa de la cuenca y doble clic en la estación; en la parte inferior de la pantalla de Arcview se apreciará la longitud entre los puntos en unidades de metros.



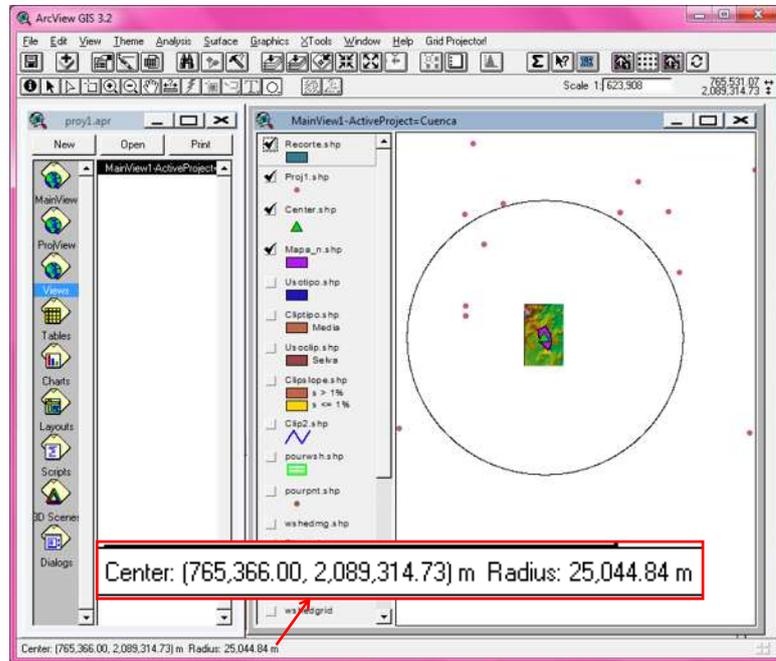
Como lo anterior sólo es un acercamiento a las estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca delimitada se marcará una circunferencia con diámetro aproximadamente igual a la distancia máxima entre centro de masa de la cuenca delimitada y estación meteorológica que es de 25 Km. El proceso inicia agregando un tema que será un polígono. La ventaja de esta forma es que de manera más rápida se podrá apreciar que estaciones tienen influencia en la cuenca delimitada.



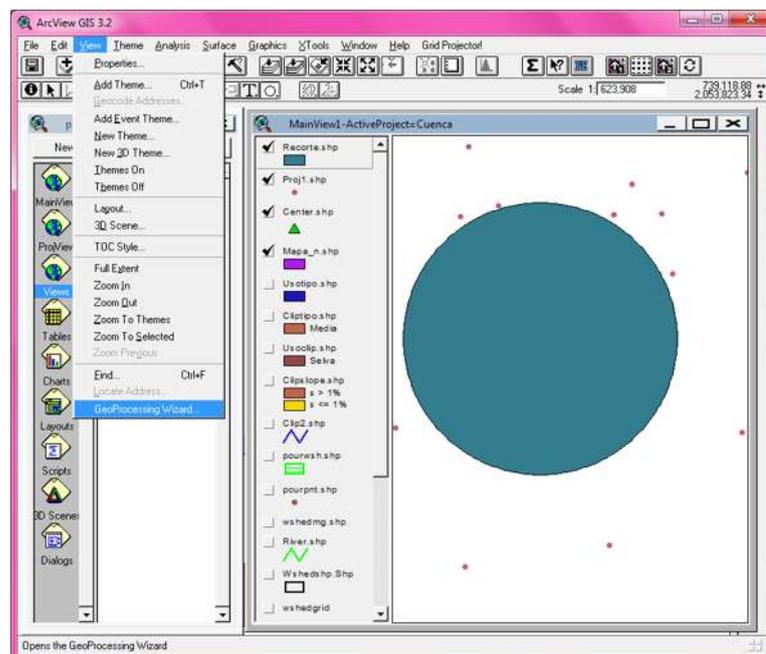
Se pide guardar el tema a generar al que se llamará “recorte”, en seguida aparece el tema en la lista con el contorno punteado, recordando que esto significa que está siendo editado. Después se da clic en la parte inferior derecha del ícono “Dibujar figura geométrica” para seleccionar la circunferencia.



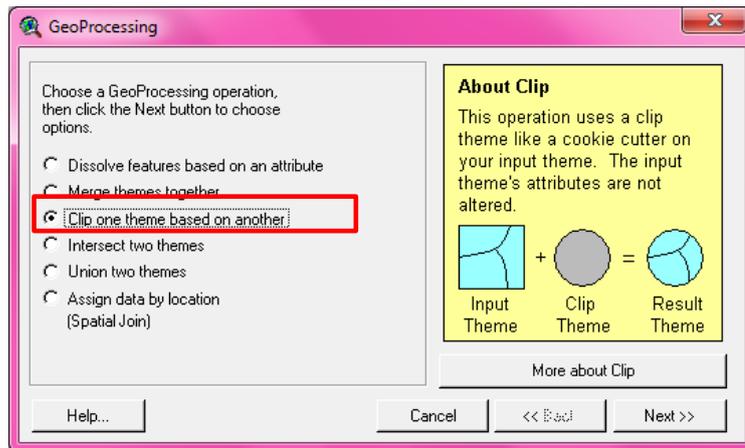
Se dibuja la circunferencia colocando el cursor en el centro de masa de la cuenca delimitada y arrastrándolo para asignar el radio auxiliados de la distancia que aparece en la parte inferior izquierda de la ventana de Arcview de manera aproximada a 25 km.



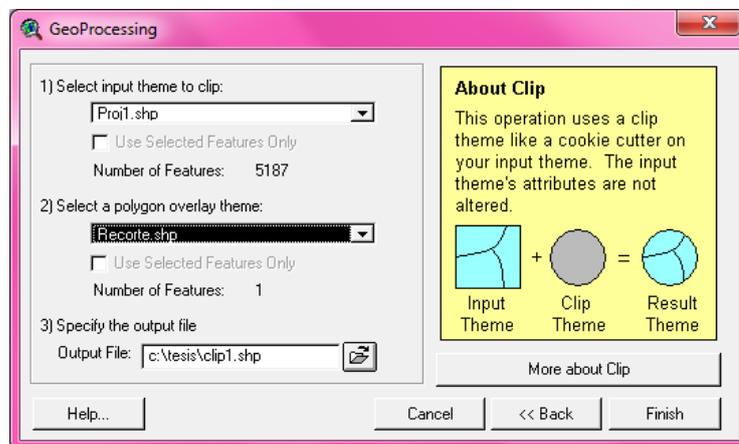
Lo siguiente es hacer un recorte de la forma geométrica para determinar del shape de estaciones climatológicas proyectado cuáles son las que tienen influencia sobre la cuenca delimitada.



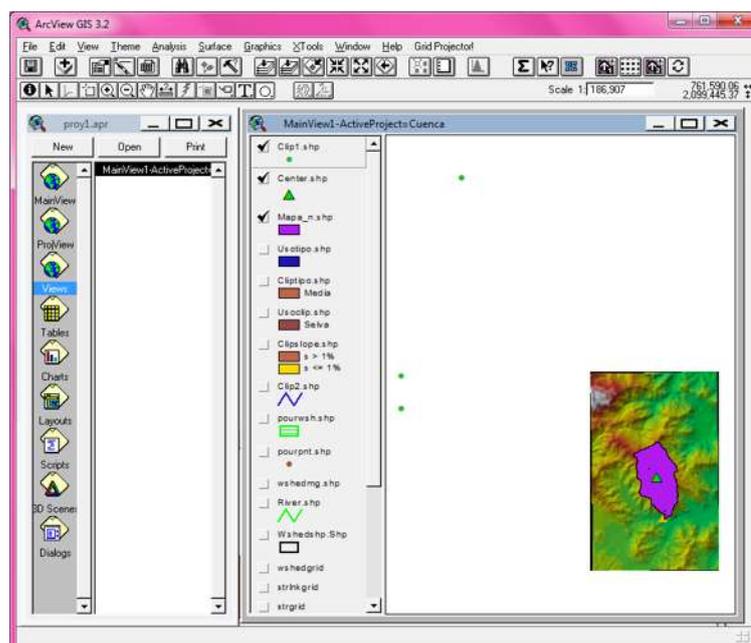
La secuencia del proceso es la siguiente. Se elige la operación.



Se eligen los temas a recortar.

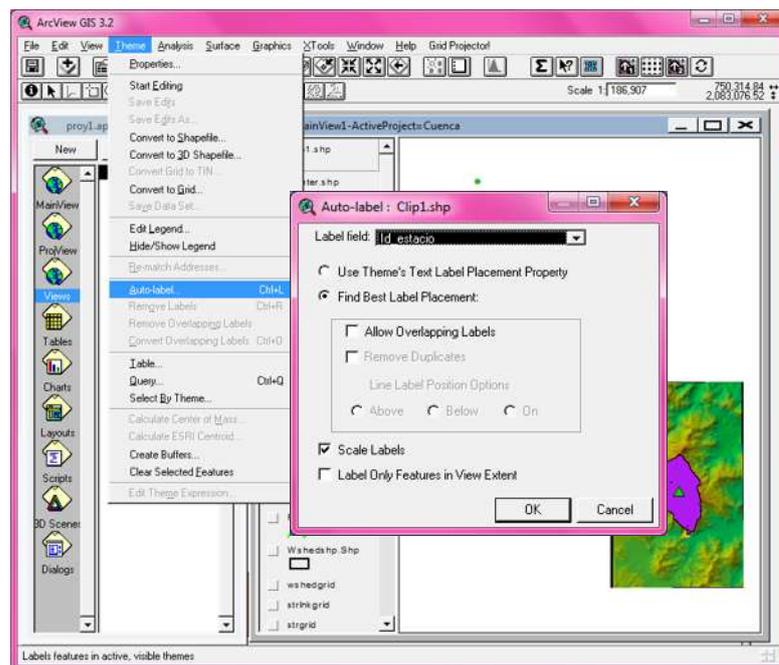


Se finaliza el proceso y se elimina el tema de las estaciones meteorológicas proyectado y el tema de la figura geométrica.

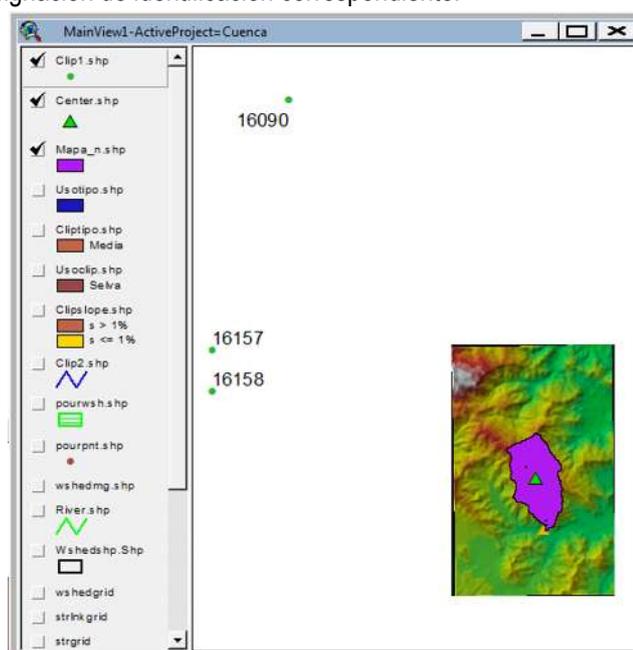


Al realizar el corte de los temas solamente tres estaciones cumplen con el requisito de estar a una distancia máxima de 25 Km, se debe verificar ahora que tengan información adecuada en cantidad y calidad para ser utilizadas en el estudio hidrológico para ello se deben identificar sus nombres y número de registro para extraer la información del software **ERIC** y generar los polígonos de Thiessen.

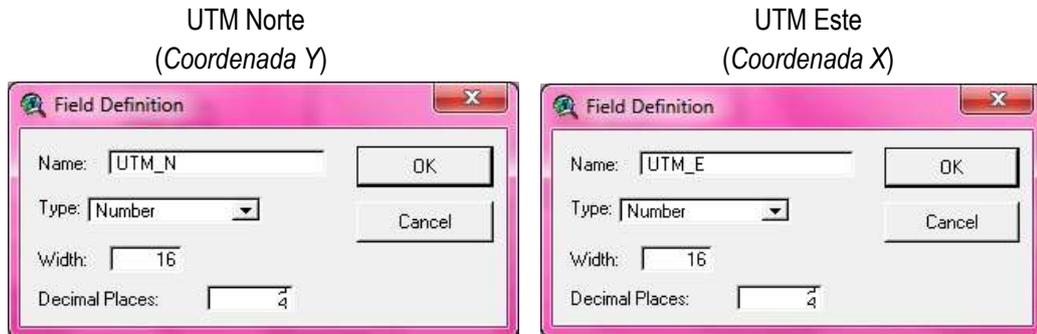
En el menú **"Theme"** se selecciona la opción **"Auto-label"** (*Etiquetas automáticas*) y en la ventana desplegada se elige el campo de identificación asignada a las estaciones climatológicas por parte de CNA.



Y se observa la asignación de identificación correspondiente.

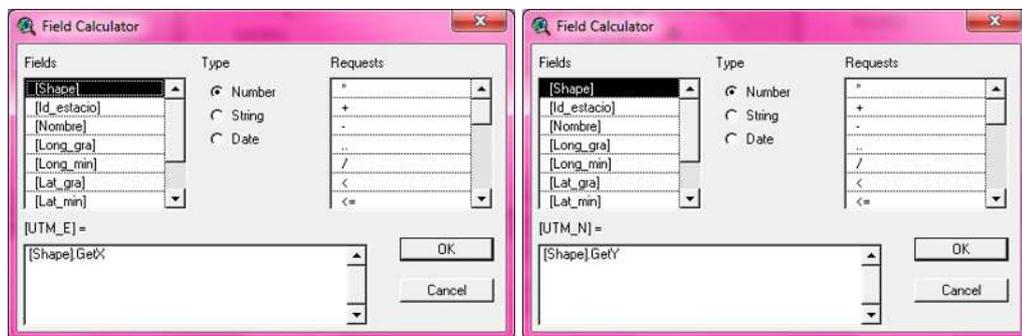


Se observarán las características de las estaciones climatológicas que están dentro del radio, para hacerlo se abre la tabla de atributos del corte de las estaciones climatológicas proyectado, se inicia la edición de la tabla para eliminar las columnas innecesarias (*Area*, *Perimeter*, *Estclimc_* y *Estclimc_i*) y a su vez agregar las columnas en las que se obtendrán las coordenadas UTM de las estaciones.



En “**Decimal Places**” se trata de la aproximación en decimales de las coordenadas se estableció 2 que equivale a 1 cm.

Para obtener las coordenadas se usará la herramienta de cálculo manteniendo seleccionada la columna correspondiente, al dar clic en el ícono “**Calculate**” emergerá la ventana “**Field Calculator**”, se selecciona el campo [Shape] y en seguida se ingresa el comando “.GetY” para obtener la coordenada en “y” y el comando “.GetX” para la coordenada en “x”, ambas coordenadas en el sistema actual del shape que son UTM y las unidades en metros.



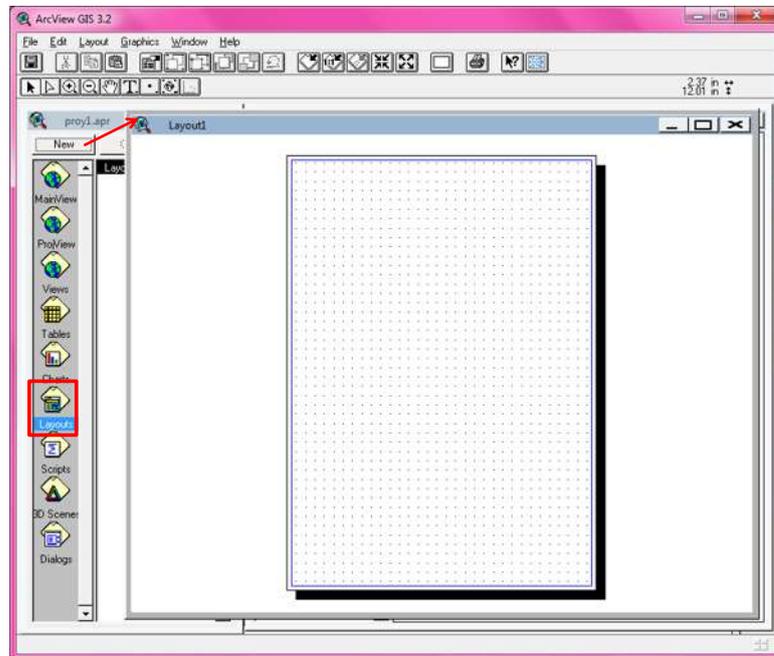
Se pueden observar otras características sobre la posición de las estaciones como lo son su longitud, latitud y altitud, las primeras dos se dividen en dos columnas una correspondiente a los grados y la siguiente a los minutos.

Id_estacio	Nombre	Long_gra	Long_min	Lat_gra	Lat_min	Altitud	UTM_N	UTM_E
16090	P. BLANCAS, BUENAVISTA	19	2	102	35	344.0	2106265.87	754362.76
16039	P. BLANCAS, BUENAVISTA	19	2	102	35	344.0	2106265.87	754362.76
16157	CHILA, AGUILILLA	18	56	102	37	300.0	2095145.50	751002.69
16158	EL CAJON, TEPALCATEPEC	18	55	102	37	296.0	2093300.19	751027.51
16037	EL CAJON, TEPALCATEPEC	18	55	102	37	290.0	2093300.19	751027.51

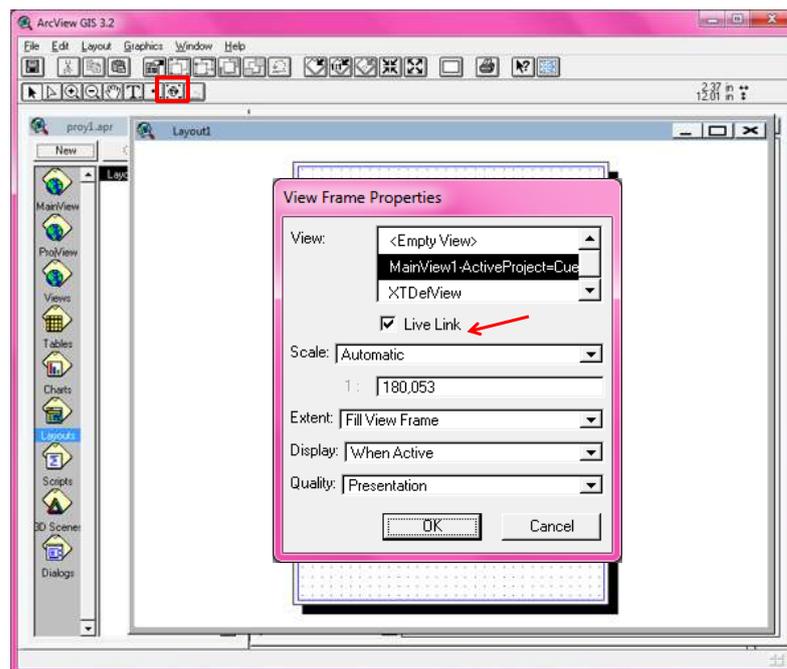
Se detiene la edición, se guardan los cambios hechos en la tabla de atributos y a su vez se guarda el proyecto.

Con lo anterior se han finalizado los cálculos que se realizan en Arcview y por último sólo se extraerá en imagen la cuenca delimitada con su cauce principal y las estaciones climatológicas con influencia sobre ella.

Se inicia el proceso creando un nuevo “Layout” en la ventana izquierda.



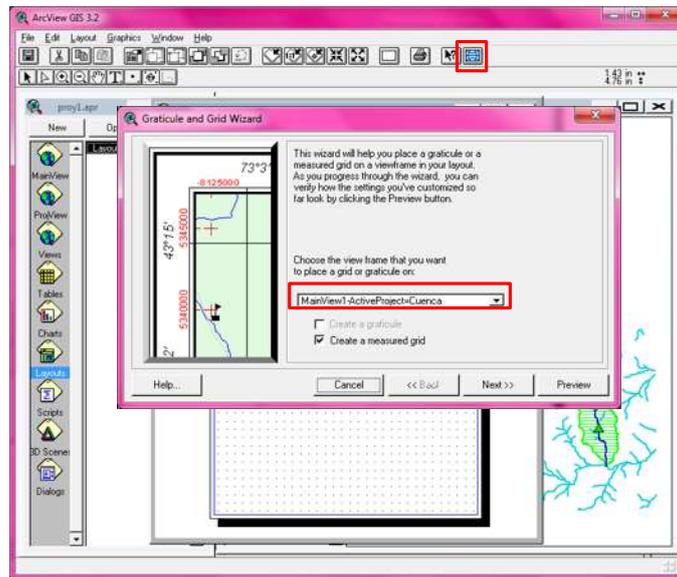
Se usará el ícono “View Frame” (Vista del cuadro) para exportar la vista actual del área de trabajo al layout. Se da clic en el ícono y se dibuja un rectángulo del tamaño que se quiere insertar la imagen del área de trabajo y en seguida emerge la ventana “View Frame Properties” donde se selecciona la vista de la cual de extraerá la imagen.



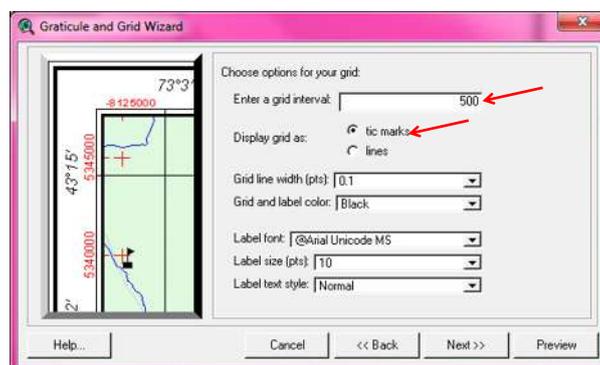
Si la opción “**Live Link**” si se mantiene activa permitirá que la imagen insertada en el layout se actualice con cualquier cambio hecho en la vista, sin embargo al dejarla activada es posible que el programa presente lentitud y deja de funcionar correctamente, se deja a criterio del usuario su uso.

Se insertará la tabla de atributos del mapa de estaciones meteorológicas proyectado para presentar en la imagen la cuenca delimitada con su cauce principal y las estaciones meteorológicas con influencia en ella y a su vez las propiedades de dichas estaciones meteorológicas.

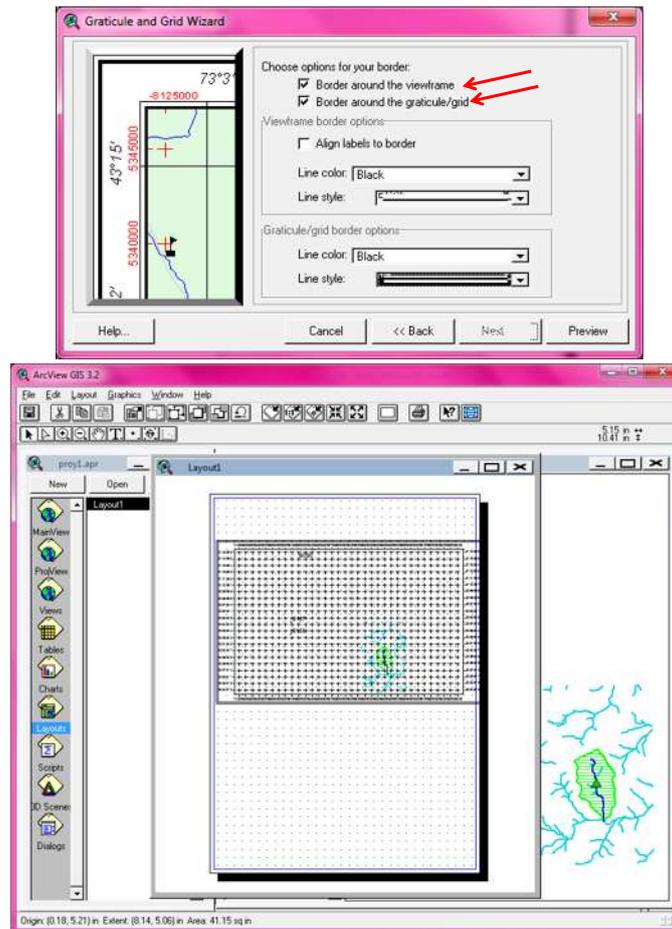
Se da clic en el ícono “**Graticules and Grids**” (*Retículas y mallas*) emergiendo la ventana “**Graticule and Grid wizard**” (*Asistente de retícula y malla*) se debe verificar que la vista que se desea poner en la retícula o la malla sea la que se encuentre seleccionada.



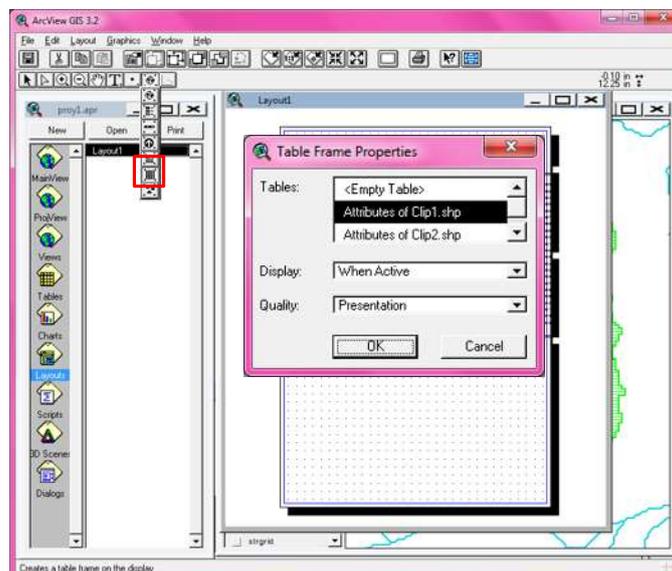
En la siguiente ventana se introducirá el espacio entre las líneas UTM que se deseen, lo que se hace en la opción “**Enter a grid interval**” (*Introducir un intervalo de la malla*). En la siguiente opción se elige que tipo de símbolo que llevarán los intervalos seleccionando “**Tic marks**” que los marca como cruces. Las siguientes opciones son características de la leyenda que llevará cada intervalo.



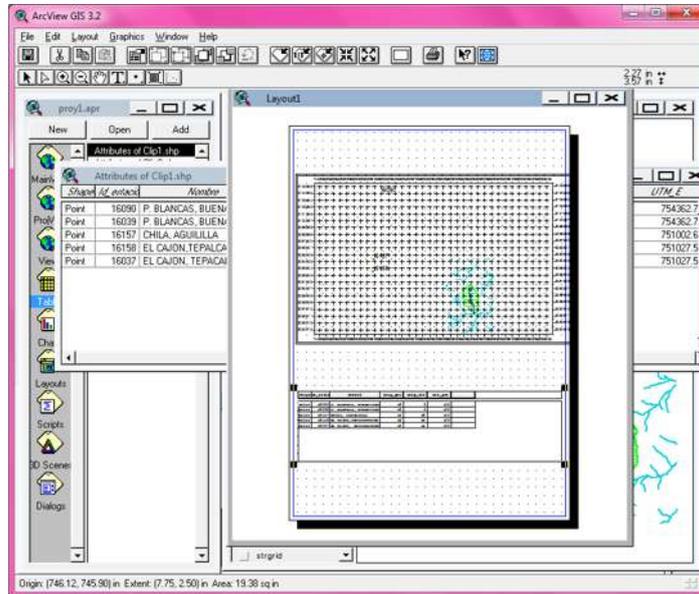
En la última ventana se determinan las características que llevará el borde del marco. Se seleccionan ambas opciones “**Border around the viewframe**” y “**Border around the graticule/grid**” y después el tipo de línea que se desee. Para terminar se da clic en “**Preview**” y posteriormente en “**Finish**”.



En el ícono “**View frame**” se selecciona la herramienta “**Creates a table frame on the display**” (*Crear un cuadro de la tabla en la vista*) y se dibuja un rectángulo donde se quiere insertar la tabla. En la siguiente ventana se elige la tabla que se desea insertar. La segunda opción es la condición de la tabla en la vista para que sea visible en el layout, se deja a consideración del usuario dicha condición, recordando que cuando está directamente vinculado lo de la vista con lo del layout se podría presentar lentitud en el programa.



Para el caso de este ejemplo se aprecia un recuadro en color gris debido a que se condicionó que debe estar activa la tabla para aparecer en el layout, por tanto se debe ir a la lista de tablas en la parte izquierda y abrir la tabla elegida apareciendo automáticamente en el layout.



Y se ha finalizado la parte del estudio hidrológico manejando el programa Arcview ya que se obtuvieron las propiedades geomorfológicas de la cuenca delimitada y las demás propiedades se generarán a partir de ecuaciones correspondientes en Hidrología.

4.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

4.4.1 Características geomorfológicas de la cuenca

Estas características representan los parámetros físicos y geográficos de la cuenca delimitada, determinados a partir de los valores obtenidos en los distintos cálculos hechos apoyados del manual. Los cuales son los siguientes:

- Obtenidas mediante Arcview:

- ✓ Área de la cuenca (A)

$$A = 6.6448 \text{ km}^2$$

- ✓ Perímetro (P)

$$P = 11.4646 \text{ km}$$

- ✓ Longitud axial (La)

$$La = 11.1884 \text{ km}$$

- ✓ Longitud del cauce principal (L)

$$L = 4.520 \text{ km}$$

- ✓ Longitud de las corrientes dentro de la cuenca (Lx)

$$Lx = 6.532 \text{ km}$$

- Obtenidas mediante ecuaciones:

- ✓ Ancho promedio

$$A_p = \frac{A}{L_a}$$

$$A_p = 0.5939 \text{ km}$$

- ✓ Índice de forma

$$I_f = \frac{(L_a)^2}{A}$$

$$I_f = 18.8388$$

- ✓ Factor de forma

$$F_f = \frac{A_p}{L_a}$$

$$F_f = 0.0531$$

- ✓ Coeficiente de compacidad

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$Kc = 1.2453$$

- ✓ Relación de elongación

$$Re = \frac{20 \frac{A}{P}}{L_a}$$

$$Re = 3.0841$$

- ✓ Densidad de drenaje

$$Dd = \frac{L_x}{A}$$

$$Dd = 0.9839 \frac{\text{km}}{\text{km}^2}$$

- ✓ Pendiente media del cauce principal calculada con el método de Taylor-Schwartz

$$S = \left[\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{s_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{s_n}}} \right]^2$$

$$s_n = \frac{H_n}{l_n} = \frac{\text{Elevación}_n - \text{Elevación}_{n-1}}{l_n}$$

$$S = 0.0209 \frac{\text{km}}{\text{km}}$$

4.4.2 Precipitación

4.4.2.1 Información meteorológica

Para examinar las estaciones climatológicas se hizo uso de la base de datos ERIC II, como se aprecia en la siguiente imagen, existen 3 estaciones climatológicas dentro del radio sugerido por la Organización Meteorológica Mundial para saber la influencia de las mediciones sobre un sitio de estudio, a partir de las cuales se revisa la aplicación de los registros climatológicos sobre la cuenca delimitada y con ello la selección de la información correspondiente.

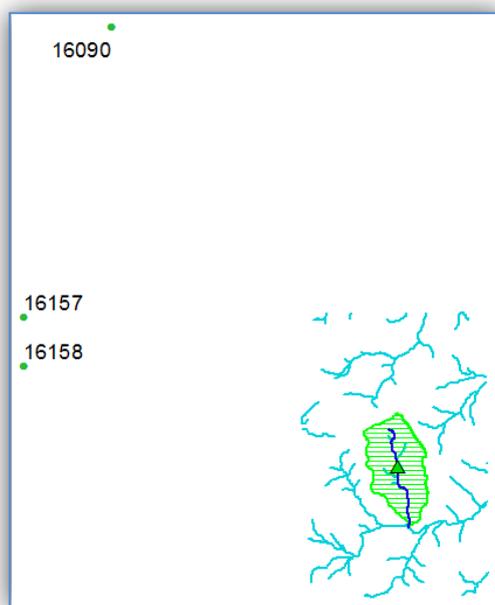


Imagen 4.1 Estaciones climatológicas cercanas a la cuenca delimitada

ESTACIÓN	NÚMERO	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	REGISTRO	DISTANCIA
P. BLANCAS, BUENAVISTA	16090	19° 02'	102° 35'	344.0	03/1963- 06/1975	20205.36m
CHILA, AGUILLA	16157	18° 56'	102° 37'	300.0	06/1969- 09/1985	15384.17m
EL CAJÓN, TEPALCATEPEC	16158	18° 55'	102° 37'	396.0	08/1952- 09/1985	14736.80m

Tabla 4.1 Estaciones climatológicas a menos de 25km de la cuenca delimitada

Al observar la imagen 4.1 de las estaciones climatológicas respecto a la cuenca delimitada se establece que no aplican los métodos de los polígonos de Thiessen e Isoyetas, debido a que ninguna de las estaciones tiene influencia directa en dicha cuenca, es decir no tienen contribución en la determinación de la precipitación máxima probable y permitiendo así la obtención del Hietograma característico de la cuenca. Por tanto se procede a analizar los datos de precipitación mediante métodos conocidos como *indirectos* con el fin de llegar a la elaboración de los Hidrogramas y por tanto el gasto de diseño.

4.4.2.2 Selección y análisis de los datos de precipitación

Los registros de precipitación de la estación seleccionada se extrajeron del ERIC III, en formato txt para ser posteriormente exportados a Excel para ser manejados y analizados. Los registros contienen información DIARIA que fue pasada a MENSUAL y luego a nivel ANUAL. Así mismo se obtuvieron los

estadísticos de la precipitación media y máxima mensual. Al contar con información DIARIA que procede de un pluviómetro, no se cuenta con información horaria que nos permita determinar en forma directa el Hietograma característico de la cuenca, por lo tanto este se obtendrá mediante otros métodos establecidos.

ESTADO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MEDIA	24.87	13.07	7.41	1.48	19.12	145.31	202.56	175.19	176.28	72.96	23.47	14.64
MAX	194.5	351.6	118.9	29.3	138.5	291.1	337.7	400.2	354.8	188.1	221	198.6
AÑO MÁX	1965	1965	1965	1959	1956	1972	1955	1969	1963	1976	1964	1963

Tabla 4.2 Datos de precipitaciones máximas y medias mensuales de la estación 16158

De las precipitaciones acumuladas medias de cada mes (fila sombreada en amarillo de la tabla 4.2) que se tendrá una precipitación acumulada media anual de **876.35** mm, misma que se utiliza para la determinación de la lluvia en exceso (Pe) y la precipitación interceptada (Po).

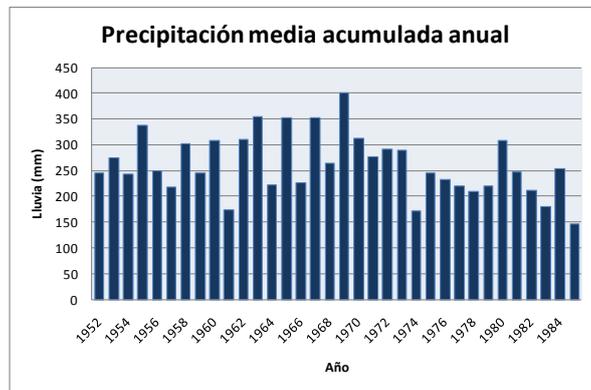


Imagen 4.2. Precipitación acumulada media anual en la estación 16158

AÑO	hp máx.								
1952	102.5	1959	53.4	1966	43.5	1973	66.5	1980	73.5
1953	128	1960	80	1967	102.5	1974	64.5	1981	68
1954	51.5	1961	40.2	1968	69.5	1975	63.5	1982	76.5
1955	65.5	1962	91	1969	104.5	1976	120	1983	73.5
1956	65.5	1963	65.3	1970	75.9	1977	96	1984	64
1957	84	1964	49	1971	60.5	1978	69	1985	68.4
1958	75.6	1965	70	1972	58.5	1979	68.5		

Tabla 4.3 Datos estadísticos de precipitación máxima 24 horas en la estación 16158

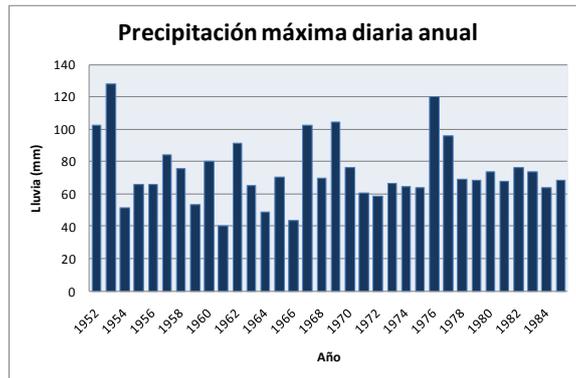


Imagen 4.3 Precipitación máxima diaria anual en la estación 16158

4.4.2.3 Análisis de la distribución espacial de la precipitación (precipitación media)

Entre los factores climáticos que mayor variabilidad se registra año con año se encuentra la cantidad de lluvia precipitada en una determinada región hidrológica, dicha variabilidad no solo es referida al tiempo sino también al espacio, lo que significa que la lluvia depende de las condiciones locales. En otras palabras se refiere a la forma en que toda la precipitación registrada es dividida en toda la zona en estudio aunque ciertas partes de ella no tengan registro y/o precipitación.

Generalmente se conoce esta distribución por medio de los polígonos de Thiessen, sin embargo como este dicho método no es aplicable a este caso, no es posible hacer la representación gráfica.

4.4.3 Precipitación interceptada (Po)

Se entiende por precipitación interceptada a la precipitación que queda atrapada en la vegetación, más la precipitación interceptada en la superficie del suelo y la precipitación que se infiltra. Ante la dificultad de valuar por separado cada uno de los conceptos antes mencionados y al ser mayor el tercero, se opta en muchos casos por definir la precipitación interceptada como la infiltración que ocurre al interior de la cuenca.

La precipitación interceptada (Po), depende del uso y tipo de suelo, esta precipitación permite calcular la precipitación en exceso (Pe), el método para obtenerla (ΣPe) se da a partir de la precipitación acumulada de una tormenta (ΣP) y la precipitación interceptada, este método fue desarrollado por la institución Soil Conservation Services de los estados Unidos de América.

$$\Sigma Pe = 0 \quad \text{si } \Sigma P \leq Po$$

$$\Sigma Pe = \frac{\Sigma (P - Po)^2}{\Sigma (P + 4Po)} \quad \text{si } \Sigma P > Po$$

Donde: ΣP = Precipitación acumulada para el instante considerado (cm)
 ΣPe = Precipitación acumulada en exceso (cm)
 ΣPo = Precipitación interceptada (cm)

$$\Sigma P_o = \frac{508}{N} - 5.08$$

N = Número de escurrimiento

De la ecuación de P_o , se observa que para cada valor del número de escurrimiento (N), le corresponde un valor de P_o . Siendo por lo tanto importante obtener en una primera etapa el valor de dichos números para la cuenca y posteriormente realizar el cálculo de la precipitación interceptada.

4.4.3.1 Información de uso y tipo de suelo

La información del uso y tipo de suelo de la cuenca en estudio se obtuvo de los Shapes proporcionados por INEGI y CONABIO, mediante el manejo de Arcview, para ello se verificaron las propiedades de referencia de cada uno de ellos y se generaron las proyecciones adecuadas para posteriormente recortar los temas respecto de la cuenca previamente delimitada y con ello cuantificar y conocer las características de la misma.

4.4.3.2 Cuantificación del uso de suelo

El total del área de la cuenca se clasifica como Selva con vegetación secundaria de Selva baja Caducifolia, la vegetación secundaria se considera aparente y sin erosión aparente sobre el terreno que conforma la cuenca, como se muestra en la imagen.

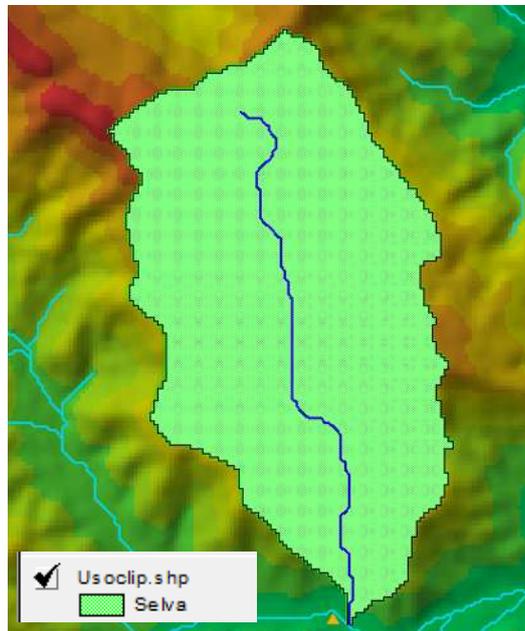


Imagen 4.4 Mapa de uso de suelo de la cuenca delimitada

4.4.3.3 Cuantificación del tipo de suelo

Para el ejemplo se observa que el área total de la cuenca delimitada que es 6.6448 km² se trata de un suelo que presenta un horizonte de acumulación de arcilla con saturación superior al 50% por tanto se habla de un suelo del tipo *Luvisol* con textura media.

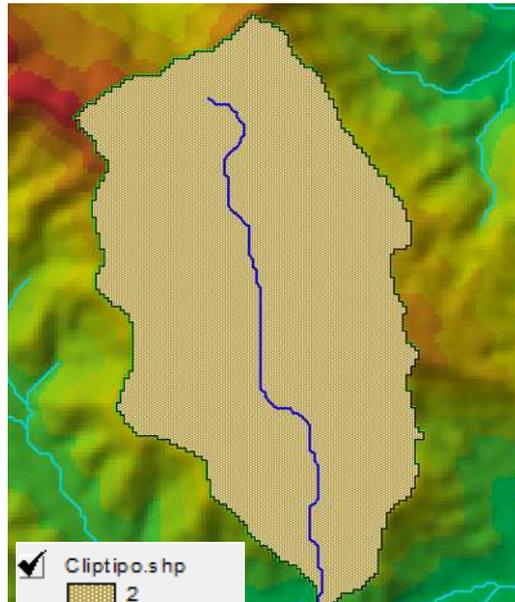


Imagen 4.5 Mapa del tipo de suelo en la cuenca delimitada

4.4.3.4 Cuantificación de la pendiente del suelo

El terreno de la cuenca delimitada se clasificó en dos tipos de pendiente: menor o igual al 1% y mayor al 1%. Se observa que el 98% del área cuenca tiene una pendiente mayor al 1%, y solamente el 2% tiene pendiente menor al 1% como se muestra en la imagen, por lo que para fines prácticos se puede considerar que la cuenca delimitada presenta una pendiente mayor a 1%.

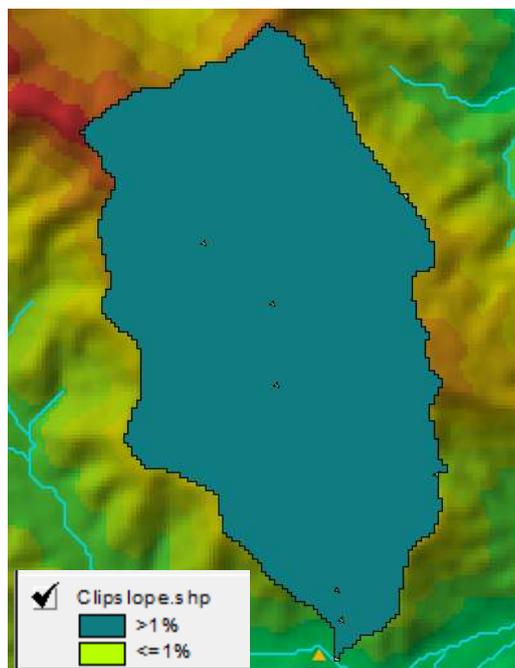


Imagen 4.6 Mapa de pendiente menores y mayores al 1%

4.4.3.5 Determinación del número de escurrimiento y precipitación interceptada

Una vez determinados los tipos de suelo y los números de escurrimiento en función de la pendiente del terreno se generó a partir del shape de INEGI el mapa de números de escurrimiento como se observa en la imagen siguiente.

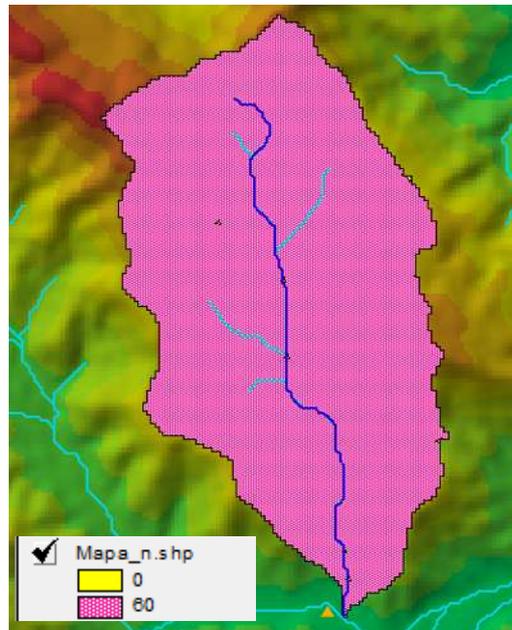


Imagen 4.7 Mapa de números de escurrimiento N

Se cuantifica el área para cada uno de los números de escurrimiento y se aplica la siguiente fórmula, sin embargo en este caso sólo se presentó un número de escurrimiento para toda la cuenca delimitada por lo que dicha fórmula es igual al único valor obtenido en base a las combinaciones de las propiedades del área en estudio, esto representa que el promedio ponderado o geométrico no aplica y en caso de existir otros números de escurrimiento se deberá calcular con la siguiente expresión.

$$N_{\text{CUENCA}} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i * A_i)}{A_{\text{TOTAL}}} = 60$$

El anterior número de escurrimiento de la cuenca permite calcular la precipitación interceptada.

$$\Sigma P_o = \frac{508}{60} - 5.08 = 3.386 \text{ cm}$$

4.4.4 Precipitación en exceso y escurrimiento superficial

La precipitación en exceso se calcula para luego transformarlo a escurrimiento superficial. Este procedimiento es necesario ya que no existe información de estaciones hidrométricas, en particular del aforo del cauce de la cuenca delimitada, que permita tener noción del volumen de escurrimiento superficial que pasa por el cauce.

Como $\Sigma P = 876.35 \text{ mm}$ y $P_o = 33.86 \text{ mm}$
 $\Sigma P > P_o \therefore$

$$\Sigma P_e = \frac{(876.35 - 33.86)^2}{(876.35 + 4(33.86))} = 701.489 \text{ mm}$$

PRECIPITACIÓN ACUMULADA MEDIA ANUAL	PRECIPITACIÓN INTERCEPTADA	PRECIPITACIÓN EN EXCESO	ÁREA DE LA CUENCA	VOLUMEN ESCURRIMIENTO
ΣP mm	P_o mm	ΣP_e mm	A m ²	V_e m ³ /año
876.35	33.86	701.489	6.6448	4661288.618

Tabla 4.4 Determinación de la precipitación en exceso y el volumen de escurriendo anual

4.4.5 Determinación de la tormenta de diseño

4.4.5.1 Generalidades

La tormenta de diseño, como las avenidas máximas, tiene un carácter estocástico, por lo que normalmente se les trata como una variable aleatoria.

La tormenta de diseño, es uno de los datos de partida para el cálculo de las avenidas máximas. Por lo que es evidente la necesidad de tener una buena exactitud. La única manera de obtener la información de la cantidad de precipitación que ocurre en una determinada cuenca, es el análisis de las tormentas que se hayan producido en la zona. Para el caso de estudio se dispone de 34 años de la estación 16158, en comparación con los periodos de retorno habituales para el diseño de obras (2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10,000 años). Por otro lado estos datos corresponden a la precipitación que ocurre en 24 horas.

Existen diversas posibilidades para definir la tormenta de diseño o hietograma de diseño para cuencas hidrológicas.

- Conocer el volumen total de precipitación (precipitación de 24 hrs o precipitación diaria (Pd), registro de estaciones con pluviómetros), y luego construir el Hietograma o Tormenta de diseño haciendo uso de técnicas desarrolladas para esta finalidad.
- Conocer los registros reales de pluviógrafos.

Para el caso de este estudio aplicaremos la primera posibilidad.

4.4.5.2 Precipitación diaria (Pd) asociada a un periodo de retorno (Tr)

En la determinación de la precipitación diaria se corre el riesgo de cometer errores significativos, resultado del tratamiento estadístico de los registros históricos de la estación 16158 con pluviómetro considerada como estación base de la cuenca delimitada en estudio. Por lo tanto se trabajará la

información existente y generando nueva información más avanzada de precipitación correspondiente a diferentes periodos de retorno.

Para el caso de la cuenca en estudio, se determinaron las precipitaciones diarias máxima o precipitación máxima 24 horas, histórica. Para la estación 16158 se presenta en la información consultada en el ERIC III.

AÑO	hp máx.								
1952	102.5	1959	53.4	1966	43.5	1973	66.5	1980	73.5
1953	128	1960	80	1967	102.5	1974	64.5	1981	68
1954	51.5	1961	40.2	1968	69.5	1975	63.5	1982	76.5
1955	65.5	1962	91	1969	104.5	1976	120	1983	73.5
1956	65.5	1963	65.3	1970	75.9	1977	96	1984	64
1957	84	1964	49	1971	60.5	1978	69	1985	68.4
1958	75.6	1965	70	1972	58.5	1979	68.5		

Tabla 4.5 Precipitación máxima 24 horas de la estación 16158

A la precipitación máxima 24 horas correspondientes a cada año de registro, se le asocia un periodo de retorno.

4.4.5.3 Análisis de frecuencia de lluvias

La obtención de las lluvias para distintos periodos de retorno y distintas duraciones se realizará a través de la expresión que Bell desarrollo a partir de la lluvia de duración de una hora y un periodo de retorno de 2 años.

$$P_T^t = (0.35 \ln T + 0.76)(0.54t^{0.25} - 0.50)P_2^{60}$$

Donde:

P_T^t = Precipitación asociada a un periodo de retorno con una duración (mm)

T = Periodo de retorno (años)

t = Duración (m)

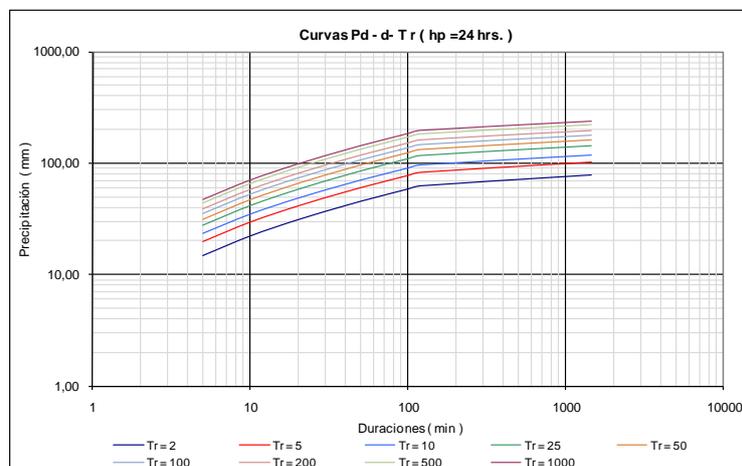


Imagen 4.8 Curvas Pd – d – Tr de 24 hrs para la cuenca de estudio a partir de la estación 16158

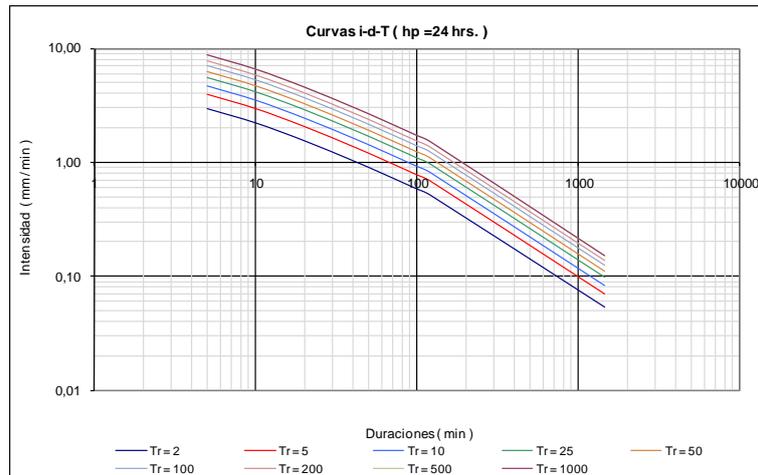


Imagen 4.9 Curvas i – d – Tr de 24 hrs para la cuenca de estudio a partir de la estación 16158

4.4.6 Determinación del gasto de diseño para diferentes periodos de retorno

El funcionamiento hidrológico de una cuenca es debido en gran medida a la respuesta que tendrá esta ante la precipitación. Este funcionamiento depende de los parámetros geomorfológicos (A, L y S), del tiempo de concentración (t_c) y de la precipitación interceptada.

Previamente se han determinado los parámetros geomorfológicos y la precipitación interceptada, a continuación se determinará el tiempo de concentración, así como el escurrimiento que se produce en la cuenca haciendo uso de diversos métodos.

4.4.6.1 Tiempo de concentración

Se han propuesto diversas fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración. No obstante no existe una expresión universal válida. Se ha comprobado que las fórmulas que parten de la geomorfología de las cuencas dan buenos resultados en México, tales como las que proponen Kirpich. Por otro lado se observa la necesidad de evaluar formulaciones que distinguen cuencas no urbanas en particular la expresión de J.R. Temez.

- Para este caso se trata de una cuenca **no** urbana, por tanto el tiempo de concentración se calcula con la fórmula propuesta por **Kirpich**:

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} = 0.000325 \frac{4520.09^{0.77}}{0.020958^{0.385}} = \mathbf{0.939 \text{ hrs}}$$

Donde: t_c = Tiempo de concentración (hrs)

L = Longitud del cauce principal (m)

S = Pendiente del cauce principal, calculada con el método de Taylor y Schwarz

- Para cuencas no urbanas rurales (urbanización < 4% del área de la cuenca) se utiliza la siguiente ecuación propuesta por **J.R. Temez**.

$$t_c = 0.3 \left[\frac{L}{S^{0.25}} \right]^{0.76} = 0.3 \left[\frac{4520.09}{0.020958^{0.25}} \right]^{0.76} = \mathbf{1.968 \text{ hrs}}$$

Donde: t_c = Tiempo de concentración (hrs)

L = Longitud del cauce principal (m)

S = Pendiente del cauce principal (m/m)

4.4.6.2 Método racional

Este método es el más usado por su facilidad y los buenos resultados que proporciona, si se verifican las hipótesis en que se basa la formulación.

Este método calcula el gasto máximo del escurrimiento de una precipitación en exceso de intensidad (i) que cae sobre una cuenca de superficie conocida (Ac), que ocurre de manera instantánea y es constante durante un tiempo mínimo igual al tiempo al tiempo de concentración de la cuenca (t_c). Si la precipitación en exceso es igual a la precipitación que ocurre en la cuenca (equivalente a la precipitación interceptada $P_o = 0$), el gasto máximo sería $Q_p = A_i$.

Pero debido a la existencia de detención del agua o precipitación interceptada, es necesario considerarlo, aplicando un coeficiente de escurrimiento llamado **C**, y el valor asignado para la cuenca es de acuerdo con el tipo de área y apoyándose en la tabla 8.3 del libro Fundamentos de Hidrología de Superficie del Dr. Francisco Javier Aparicio Mijares.

$$Q_p = 0.278 C i A$$

Donde: Q_p = Gasto máximo o de pico (m^3/s)

C = Coeficiente de escurrimiento

i = Intensidad media de la lluvia para $d = t_c$ en la cuenca (mm/h)

A = Área de la cuenca (km^2)

4.4.6.3 Método del hidrograma triangular unitario

Este hidrograma de escurrimiento directo en el punto de salida de la cuenca, generado por una precipitación en exceso de 1 cm uniforme en toda la cuenca, durante un tiempo D de duración efectiva o en exceso.

$$Q = q_p P_e \qquad q_p = 0.208 \frac{A}{T_p}$$

$$T_p = 0.5d + T_r \qquad T_r = 0.6 T_c$$

- Donde:
- Q = Gasto de diseño (m^3/s)
 - q_p = Gasto pico del hidrograma unitario triangular ($m^3/s - mm$)
 - P_e = Precipitación en exceso (cm)
 - A = Área de la cuenca (km^2)
 - T_p = Tiempo de pico (hrs)
 - d = Duración efectiva (hrs)
 - T_r = Tiempo de retraso (hrs)
 - T_c = Tiempo de concentración (hrs)

4.4.6.4 Método envolventes de Creager

Creager obtuvo datos sobre avenidas máximas registradas en diferentes cuencas del mundo y formó una gráfica como la de la figura mostrada a continuación, en la que relacionó el área de la cuenca (A) con el gasto por unidad de área (q).

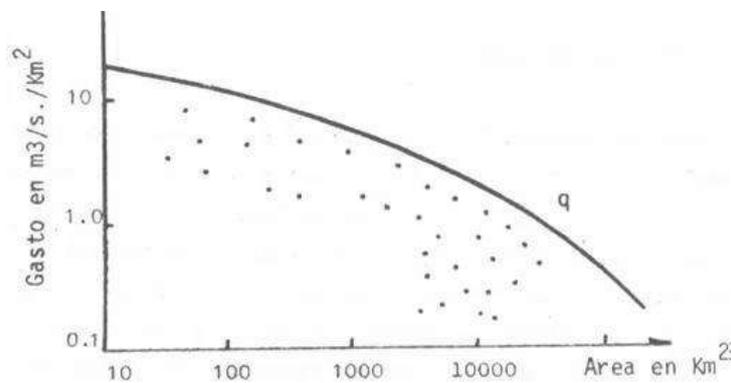


Imagen 4.10 Envolvente de Creager

En la gráfica trazó una envolvente cuya ecuación resultó:

$$q = 1.303\{c(0.386 A)^\alpha\}A^{-1} \quad \alpha = \frac{0.936}{A^{0.48}}$$

Donde: A = Área de la cuenca (km²)

Q = Gasto máximo por unidad de área de la cuenca (m³/s – km²)

c = Envolvente regional para la República Mexicana, valores calculados por La extinta Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), de acuerdo con las regiones Hidrológicas delimitadas en el país.

La zona de estudio se encuentra en la región hidrológica N°18 Balsas y con la actualización ya mencionada, se tiene que el coeficiente c = 70

4.4.6.5 Método envolventes de Lowry

Otro método similar es el propuesto por Lowry, cuya ecuación es:

$$q = \frac{C_L}{(A + 259)^{0.85}}$$

Donde: q = Gasto máximo por unidad de área de la cuenca (m³/s – km²)

A = Área de la cuenca (km²)

C_L = Valor de la envolvente de Lowry

4.4.6.6 Método de Chow

$$Q_p = q_p P_e \quad q_p = 0.208 \frac{A}{d_e} Z \quad Z = f(d_e, T_r) \quad T_r = 0.005 \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64}$$

Donde: Q_p = Gasto pico (m³/s)

q_p = Gasto unitario pico (m³/s – mm)

P_e = Precipitación en exceso (cm)

A = Área de la cuenca (km²)

d_e = Duración en exceso o efectiva de la tormenta (hrs)

Z = Factor de reducción del pico (Figura)

T_r = Tiempo de retraso (hrs)

L = Longitud del cauce principal (m)

S = Pendiente media del cauce principal (%)

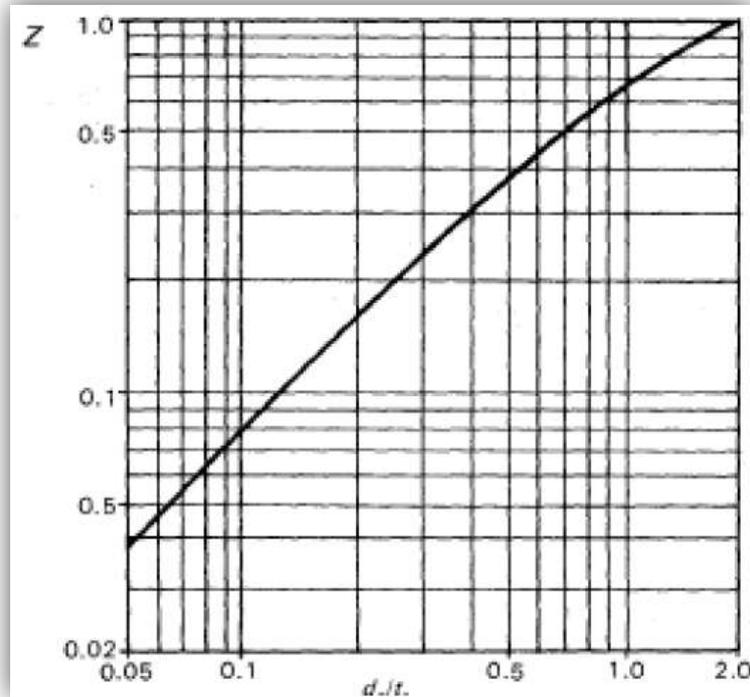


Imagen 4.11 Factor de reducción de pico (Z) en el método de Chow

4.4.6.7 Gasto de diseño (Hidrograma)

Empleando los diferentes métodos presentados en el apartado anterior se obtuvieron los gastos máximos de aportación a la cuenca delimitada.

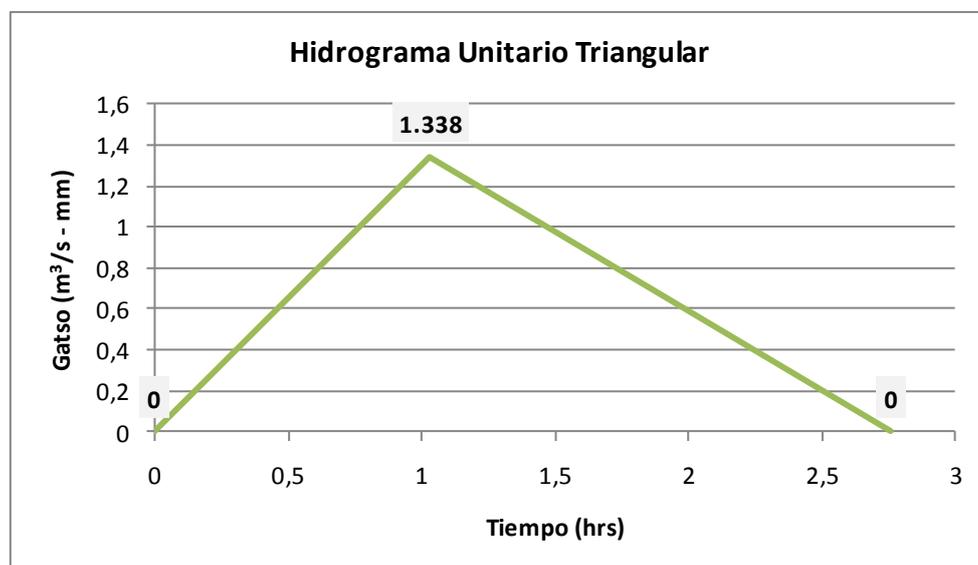
MÉTODO	GASTO PICO	UNIDADES	GASTO DE DISEÑO	UNIDADES
ENVOLVENTES DE CREAGER	30.703	m ³ /s-km ²	204.015	m ³ /s
ENVOLVENTES DE LOWRY	38.699	m ³ /s-km ²	257.151	m ³ /s

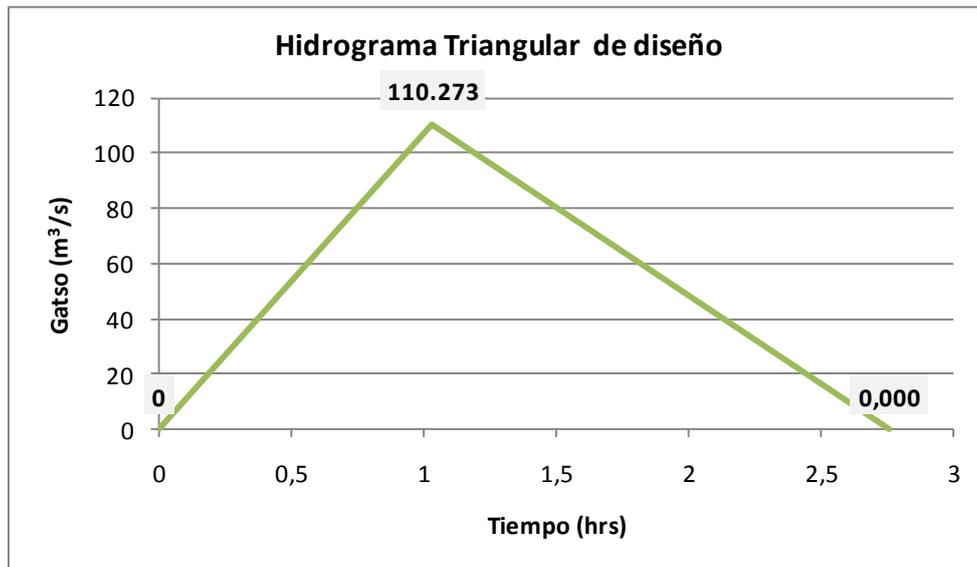
MÉTODO	PERIODO DE RETORNO TR (AÑOS)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
	GASTO MÁXIMO Q (M ³ /S)								
RACIONAL	1.22	1.62	1.91	2.30	2.60	2.90	3.19	3.58	3.88
HIDROGRAMA UNITARIO	42.27	61.21	75.82	95.37	110.27	125.24	140.27	160.18	175.29
CHOW	33.44	47.65	58.56	73.57	85.02	96.52	108.06	123.35	134.95

La elección del método más adecuado para el proyecto depende de las características de éste, es decir, qué objetivo tiene el estudio hidrológico, las condiciones del sitio de interés, el tipo de obra hidráulica a construir o revisar (si es el caso), entre otros.

Debido a lo anterior y a que el hidrograma depende del método elegido, los siguientes hidrogramas son solo representativos, entendiéndose que son la parte final del estudio hidrológico, obteniendo de ellos el gasto de diseño.

A continuación se muestra el Hidrograma de diseño.





Como la finalidad de éste manual es el manejo de Arcview como herramienta de apoyo en la realización de un estudio hidrológico, no es necesario detallar la metodología a partir del análisis de los datos obtenidos mediante el programa.

4.3 Evaluación de la aplicabilidad del manual

A manera de analogía es necesario evaluar un producto antes de ofertarlo al público para conocer si se logran los objetivos planteados al inicio del trabajo, incluyendo las deficiencias que éste pueda tener para así mejorarlas y poder ofrecer resultados satisfactorios.

La forma de evaluar el manual consistió en proporcionarlo a un Ingeniero Civil con los conocimientos requeridos mencionados al inicio del trabajo para poder manejar las herramientas, principalmente Arcview. Obteniendo lo siguiente:

Resultados positivos

- ❖ La redacción en la mayor parte del texto es clara, con un lenguaje simple y explícito, con lo que la metodología utilizada para explicar los procedimientos fue adecuada pues permite desarrollar cada concepto paso a paso, y donde es necesario hay comentarios de advertencias o recomendaciones.
- ❖ Es interesante para el lector, ya que fue de gran ayuda para entender y saber manejar toda la interfaz del programa y distinguir entre que es un shape y todos los elementos que tienen diferentes propiedades dentro del mismo, debido a que desde el principio se deja en claro cómo manejar las vistas y en cuál se trabaja cierto tipo de datos y en que otras vistas otros diferentes, agradando el preliminar del manual donde ayuda a familiarizarse con el programa y sus íconos, en particular los utilizados para la obtención de las características de la cuenca.
- ❖ En la parte del estudio hidrológico está bien estructurada, ya que se liga correctamente todo el procedimiento, desde cómo cargar la información necesaria del INEGI (MDE) para después procesarla y pasarla a una malla (grid), explicando los pasos por ejemplo cómo se puede detallar el mallado para tener una mayor exactitud, el porqué es necesario proyectar ese mallado y cómo se debe proyectar referenciándolo a algún tipo de coordenadas geodésicas, todo esto como preliminar para comenzar con lo que es el estudio hidrológico como tal.
- ❖ Resultó útil el cómo se explican todos los pasos que se deben seguir hasta llegar a los datos que se requieren para el desarrollo del estudio, mencionando las herramientas usadas en cada uno de ellos y las extensiones con las cuales se trabaja, por ejemplo cómo se maneja la extensión HEC-GEO HMS ya que el procedimiento tiene una numeración que comienza encontrando las zonas de encharcamiento, para después ligarlas con encontrar las direcciones del flujo y así empezar a determinar algunos de los parámetros de la cuenca como es el parteaguas, la red de drenaje general, el mapa de pendientes y después cómo es que se acotan estos parámetros a la cuenca en estudio para una vez que se tiene bien delimitada la cuenca obtener algunas de sus propiedades como el área y el perímetro.

- ❖ Se aprecia atinado que en el manual se mencionen puntos muy importantes con los cuales el usuario aclara de una manera importante el procedimiento y que en muchos manuales de software especializado se obvian, por mencionar uno de ellos el cómo se debe proponer el punto de salida de la cuenca para tenerlo cómo punto de referencia y poder así utilizar la extensión HEC-GEO HMS para determinar las propiedades más importantes de la cuenca.
- ❖ La mención que se hace en cada uno de los pasos donde se requiere información extra para trabajar en Arcview, es eficiente ya que se dice de donde se obtiene esa información y cómo cargarlas en el programa, un ejemplo de esto son los mapas de uso de suelo y de edafología necesarios para obtener la infiltración y el escurrimiento.
- ❖ Otra parte que resultó ser buena, es que en todo el manual e independientemente de lo que se esté trabajando, se menciona con qué extensión se hace el cálculo ayudando así en gran medida a quien no haya utilizado el programa para no perder la secuencia.
- ❖ En general todas las fases del manual están explícitas con suficiente información sin lugar a dudas. Se aprecia como un manual completamente eficiente, didáctico y que cumple de una manera acertada su objetivo.

Resultados negativos:

- ❖ El programa en sí se ve con muchas limitaciones y dificultades como la instalación del programa o al momento de cargar las extensiones, pero aun así se logra hacer un trabajo bueno para el uso de este programa en cuanto a la hidrología.
- ❖ Existen partes donde no quedaba claro el para qué se hacían por ejemplo el cambio de coordenadas, argumentando que sería mejor explicarlo con un lenguaje más sencillo.
- ❖ Otro aspecto que se dijo podía mejorarse es que las imágenes no eran claras específicamente porque eran pequeñas.

Estos aspectos negativos fueron corregidos después de conocerlos y así obtener un manual más didáctico y claro para el lector el cual es presentado en este trabajo.

Capítulo 5

D

iscusión

5.1 Conclusiones

Debido a la necesidad de contar con herramientas de apoyo para el mejor entendimiento y aplicación de los conocimientos fue que surgió la idea de elaborar este manual, el cual resultó ser un proceso empírico para el autor y a la vez satisfactorio en su objetivo principal, es decir, ya se cuenta con un conocimiento básico del manejo del programa Arcview aplicándolo en un estudio hidrológico.

Para lograr lo anterior se requirió en primera instancia de recaudar información sobre los componentes y funciones del programa, viendo a Arcview como un sistema de información geográfica y que su campo de aplicación no se limita a la Hidrología, ya que se comprendió que un SIG es un software capaz de procesar mapas con extensas bases de datos alfanuméricos. Ejemplo de ello son los mapas proporcionados por organismos gubernamentales sobre características del sitio en estudio, ya que éstos contienen una amplia gama de información que, como se observó en el proceso puede ocasionar dificultades durante el manejo del programa si no se analiza de manera correcta.

El programa Arcview es un instrumento de apoyo con grandes alcances y de los mejores en la actualidad, no obstante su correcto funcionamiento está condicionado a que el usuario sea meticuloso al momento de usarlo, es decir tanto al ingresar como generar datos en él, dado que se observó la importancia de manipular la información de manera adecuada al momento de realizar el estudio hidrológico, de lo contrario es posible que surjan complicaciones en el proceso y sea imposible finalizarlo.

Hasta la fecha son pocos o ninguno los programas que cuentan con las mismas herramientas que Arcview y esto hace aún más importante conocer sus funciones básicas, principalmente para los estudiantes de Ingeniería quienes se muestran interesados en conocer y poseer fuentes de ayuda en sus proyectos de licenciatura.

La metodología empleada para aplicar los conceptos tanto hidrológicos como propios del programa fue elegida y ejecutada de forma adecuada ya que la secuencia descrita en el manual fue considerada clara y didáctica al momento de evaluar su aplicabilidad. En ese sentido se cumplió el objetivo buscado que era lograr un lenguaje sencillo pero con la información

necesaria para comprender lo que se está haciendo con el programa Arcview, lo que en ocasiones puede resultar difícil de lograr, ya que no se debe olvidar que el programa es un software y por tanto implica términos técnicos que no son muy comunes en la vida de cualquier persona, sólo para quienes están familiarizados con procesos de informática.

Cabe mencionar que la elaboración del manual puede ser un proceso tardado que requiere de completa atención a los detalles, dado que se intenta explicar el funcionamiento de un programa computacional y se hace de forma escrita complicando así que se transmitan las ideas adecuadas al usuario. Por ello es necesario que se tome el tiempo suficiente para construir un manual de este tipo para realizarlo de manera eficaz.

Por último, se observó que la comprensión de los conceptos hidrológicos resulta ser más sencilla si se ve de forma aplicada, porque a pesar de que son conceptos propios de la Ingeniería no están alejados de la vida diaria de las personas y es importante conocer su funcionalidad ya que esta afecta de forma directa a la población.

5.2 Recomendaciones

El correcto funcionamiento del manual depende no sólo del programa también de las capacidades del usuario para hacer uso de él. Por ello no basta con tener consejos sobre las funciones del manual ya que es necesario conocer las limitantes o precauciones que el usuario debe tener antes de empezar el proceso.

Para que el usuario logre el objetivo del manual es necesario que posea conocimientos básicos de Hidrología y a su vez de programas computacionales como Autocad y Excel. A pesar de que es un elemento esencial durante el proceso seguido en el manual en el caso contrario de no estar familiarizado con estos programas es el mismo manual un elemento de apoyo para lograr obtener los datos necesarios para un estudio hidrológico a través de dichos programas ya que proporciona conocimientos sobre los fundamentos necesarios para el estudio hidrológico haciéndolo más completo.

Aunque es preferible que se tengan conocimientos básicos de hidrología para el óptimo manejo del manual, es recomendable también para quienes no los tengan ya que el lenguaje utilizado en la descripción del procedimiento fue pensado para transmitir las ideas principales de forma clara y concisa en forma de tutorial logrando así aclarar las inquietudes de ambos tipos de usuarios.

En lo referente al software se recomienda utilizarlo en equipos que cumplan con los requerimientos básicos para el correcto funcionamiento del programa, ya que de lo contrario puede ocasionar que éste presente complicaciones y se cierre repentinamente perdiendo así la información o el avance obtenido, por lo que también es altamente recomendable guardar constantemente el proyecto durante el proceso.

Cuando se generan archivos se aconseja que el nombre de estos no contenga más de 8 caracteres debido a que así el programa los procesa de forma más eficaz. Y una vez generados en ficheros

shape o grid se extraiga su información antes de borrarlos o con realizar un recorte con ellos porque después de esto no es posible visualizar sus características físicas.

Y como una de las recomendaciones principales sobre Arcview es tener especial cuidado en la información a cargar, ya que si ésta no es correcta y/o adecuada para el sitio en estudio, puede ser que el programa la procese pero los resultados obtenidos no serán los buscados y por tanto no podrá lograrse el objetivo particular de cada proyecto.

Bibliografía

❖ Bibliografía impresa

- Aparicio Mijares, Francisco J. (1989). “*Fundamentos de Hidrología Superficial*”. Limusa: México D.F.
- Fernández-Coppel, Ignacio Alfonso. “Localizaciones geográficas: Las proyecciones UTM”
- “Curvas de intensidad, duración y periodo de retorno como herramienta de análisis en la prevención de riesgos por precipitaciones intensas en la zona metropolitana de Guadalajara”. *Antonio González Salazar, Armando Juárez Leticia y Loza Ramírez.*
- Armenteras, D. (2001). "GIS at the Alexander von Humboldt Institute", Colombia. In: Conservation Geograpy by C. Convis. ESRI Press, USA.
- Armenteras, D. (2002). Informe de resultados Sistema de Información Geográfica.
- Berry, J.K. "Learning Computer Assisted Map Analysis" in Geographic Information Systems Report, Part III, pp. 39-43.

❖ Bibliografía impresa

<http://www.geotecnologias.com/gis.htm>

<http://www.arc.com/gis.htm>

<http://gis.sopde.es/cursosgis/DHTML>