



Procedimientos para el desarrollo de un estudio hidrológico en un Sistema de Información Geográfica, caso Cuenca del Río Coacomán, Coacomán, Michoacán.

Que para obtener el título de:
Ingeniero Civil

Presenta:
Mayveloth Alejo Hipólito

Asesor de Tesis:
Dra. Sonia Tatiana Sánchez Quispe



AGRADECIMIENTOS.

AGRADECIMIENTOS.

A MIS PADRES:

POR APOYARME, ESTAR SIEMPRE CONMIGO Y MOTIVARME EN TODOS LOS MOMENTOS A SEGUIR ADELANTE.

A MIS HERMANOS:

POR DARME SUS CONSEJOS Y ESTAR CONMIGO EN MOMENTOS DIFÍCILES Y NO DEJARME CAER.



A MI ESPOSA MYRNA:

POR DARME ÁNIMOS PARA TERMINAR LA TESIS Y ESTAR CONMIGO EN LOS MOMENTO BUENOS Y MALOS.



GRADDECIMIENTOS.

AGRADECIMIENTOS.



A MI TIA DOLORES:
QUE SIEMPRE ME AH APOYADO
A SEGUIR ESTUDIANDO Y A
SUPERARME CADA VEZ MAS.

A MI AMIGO YAIR:
QUE DE ALGUNA FORMA ME
AH APOYADO A TERMINAR MI TESIS.

A LA DRA. SONIA TATIANA SÁNCHEZ QUISPE
POR HABERME TENIDO LA SUFICIENTE
PACIENCIA, SIN ELLA NO HABRÍA
TERMINADO ÉSTE DOCUMENTO.

A TODOS AQUELLOS QUE ME HAN APOYADO...





INDICE

CAPITULO I.- INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II.- LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	3
- II.1 QUE ES UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA?	4
II.1.1 LA CONSTRUCCION DE BASES DE DATOS GEOGRAFICAS	5
II.1.2 TOPOLOGIAS, MODELOS DE DATOS DE TIPOS DE SIG	6
II.1.3 LOS SIG VECTORIALES	7
II.1.4 LOS SIG RASTER	9
- II.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS EXISTENTES	10
- II.3 EL ARCVIEW 3.2	10
II.3.1 VISUALIZACION	11
II.3.2 GENERACION DE PRODUCTOS CARTOGRAFICOS	11
II.3.3 CONSULTA GRAFICA Y TABULAR	11
II.3.4 ANALISIS ESPACIAL	12
II.3.5 INTEGRACION DE DATOS	12
II.3.6 DESARROLLO DE APLICACIONES	12
II.3.7 MANEJO DE BASE DE DATOS	12
- II.4 EXTENCIONES DE ARCVIEW PARA HIDROLOGÍA	13
II.4.1 HEC – GEOHMS	13
- II.5 HERRAMIENTAS INFORMATICAS COMPLEMENTARIAS	14
II.5.1 BASES DE DATOS: ACCESS, ARCTOOLS	14
II.5.2 SURFER	14
CAPITULO III.- LA CUENCA DEL RIO COALCOMAN	16
- III.1 ANTECEDENTES	17
III.1.1 LOCALIZACION	17
III.1.2 FISIOGRAFIA	18
III.1.3 HIDROGRAFIA	19
III.1.4 CLIMA	19
III.1.5 POBLACIONNATURALES (Uso y Estado actual)	19
III.1.7 ACTIVIDAD ECONOMICA	20
- III.2 INFORMACIÓN DIGITAL DE LA CUENCA	20
III.2.1 INFORMACION DIGITAL: MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES, FORMATO RASTER	20
III.2.2 INFORMACION DIGITAL: MAPAS TIPO Y USO DE SUELO, FORMATO VECTORIAL	22
III.2.2.1 MAPA VECTORIAL TIPO DE SUELO	22
III.2.2.2 MAPA VECTORIAL DE USO DE SUELO	24
III.2.3 INFORMACION DIGITAL, MAPA TOPOGRAFICO	26
-III.3 INFORMACION NUMERICA: METEOROLOGICA, BASES DE DATOS ERIC Y CLICOM	27
CAPITULO IV.- INFORMACION Y PROCESO A SEGUIR PARA EL DESARROLLO DE UN ESTUDIO HIDROLÓGICO CUANDO SE CUENTA SOLO CON INFORMACIÓN METEOROLÓGICA, CASO DEL RIO COALCOMAN	29



-IV.1 OBJETIVO ESTUDIO HIDROLOGICO A DESARROLLAR	30
-IV.2 EVALUAR Y PROCESAR LA INFORMACION HIDROLOGICA	
(paso 1)	30
IV.2.1 IDENTIFICACION DE LAS CUENCAS Y CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS	30
IV.2.1.1 INFORMACION FISIOGRAFICA Y DETERMINACION DE LAS CUENCAS	30
IV.2.1.2 CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS DE LAS CUENCAS	31
IV.2.2 INFORMACION METEOROLOGICA: LLUVIA (Distribución y selección)	41
IV.2.2.1 MANIPULACION Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS DE PRECIPITACION	44
IV.2.2.2 ANALISIS DE LA DISTRIBUCION TEMPORAL DE LA PRECIPITACION	45
IV.2.2.3 ANALISIS DE LA DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA PRECIPITACION (PRECIPITACION MEDIA)	46
IV.2.3 INTERCEPCION O PRECIPITACION INTERCEPTADA, P_o	49
IV.2.4 INFORMACION DE USO DE SUELO Y TIPO DE SUELO	50
IV.2.4.1 CUANTIFICACION DEL USO DE SUELO	51
IV.2.4.2 CUANTIFICACION DEL TIPO DE SUELO	54
IV.2.4.5 CUANTIFICACION DEL NUMERO DE ESCURRIMIENTO (N) Y PRECIPITACION INTERCEPTADA (P_o)	55
-IV.3 DETERMINACION DE LA TORMENTA DE DISEÑO (paso 2)	57
IV.3.1 PRECIPITACION DIARIA (P_d), ASOCIADA A UN PERIODO DE RETORNO	57
IV.3.2 DETERMINACION DEL HIETOGRAMA DE DISEÑO	67
-IV.4 DETERMINACION DEL GASTO DE DISEÑO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO (PROCESO LLUVIA - ESCURRIMIENTO) (paso 3)	73
IV.4.1 TIEMPO DE CONCENTRACION (T_c)	73
IV.4.2 DETERMINACION DE LOS DIFERENTES METODOS LLUVIA - ESCURRIMIENTO	74
IV.4.3 GASTO MAXIMO DE DISEÑO (HIDROGRAMAS)	79

CAPITULO V .- ESTUDIO HIDROLÓGICO CON HERRAMIENTAS INFORMATICAS

-V.1 PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN: MAPAS	95
V.1.1 OBTENCION DE MAPAS DIVERSOS, USANDO INFORMACION "MODELOS DIGITALES DE ELEVACION" (FORMATO RASTER)	95
V.1.1.1 MAPA DE LAS CUENCAS USANDO MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES	98
A) CUENCA TRAZADA MANUALMENTE	106
B) CUENCA TRAZADA AUTOMATICAMENTE	115
V.1.1.2 MAPA DE PENDIENTES DE LA CUENCA USANDO MDE	117
A) CON EXTENSION HEC-GEOHMS	117
B) CON EXTENSION 3D ANALYST	127
C) ANALISIS DE PROCEDIMIETNOS Y OTRAS OPCIONES	129
V.1.1.3 MAPA DE CORRIENTES DE LA CUENCA USANDO MDE	132
V.1.1.4 MAPA DE LAS CUENCAS USANDO MDE	134
A) USANDO EXTENSION HEC-GEOHMS, PROCEDIMIENTO POR PASOS	134



B)	USANDO EXTENSION HEC.GEOHMS, PROCEDIMIENTO RAPIDO ...	141
C)	USANDO EXTENSION HIDROLOGIC MODELING	143
V.1.1.5	MAPA DE LAS CUENCAS USANDO MDE, DETERMINADO	
DETALLADAMENTE		145
V.1.1.6	MAPA TOPOGRAFICO DE LAS CUENCAS, USANDO MDE	155
V. 1.2	OBTENCION MAPA TIPO DE SUELO, USANDO INFORMACION DE	
TIPO DE SUELO (FORMATO VECTORIAL)		157
V.1.3	OBTENCION MAPA USO DE SUELO, USANDO INFORMACION DE	
USO DE SUELO (FORMATO VECTORIAL)		161
V.1.4	OBTENCION DE MAPAS DIVERSOS, USANDO INFORMACION	
METEOROLOGICA (FORMATO NUMERICO)		163
A)	MAPA DE ESTACIONES METEOROLOGICAS	163
B)	MAPA DE ESTACIONES INCLUYENDO PRECIPITACION MEDIA	
ANUAL HISTORICA		169
-V.2	PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCION DE DATOS, DE	
UN MODELO LLUVIA ESCORRENTIA		169
V.2.1	PARAMETROS HIDROMORFOMETRICOS OBTENIDOS DE LOS	
MAPAS		169
A)	AREA DE LA CUENCA "A"	170
B)	PERIMETRO DE LA CUENCA "P"	177
C)	LONGITUD DE LA CORRIENTE PRINCIPAL "L"	179
V.2.2	NUMERO DE CURVA DE ESCURRIMIENTO (N) OBTENIDO DE LOS	
MAPAS		182
A)	OBTENCION DE LOS MAPAS DE PENDIENTES MAYORES Y	
MENORES AL 1%		182
B)	RECLASIFICACION DEL MAPA TIPO DE SUELO	187
C)	RECLASIFICACION DEL MAPA DE USO DE SUELO	193
D)	USO DE GRID PARA LA OBTENCION DEL MAPA	
NUMERO DE ESCURRIMIENTO		200
V.2.3	MAPA DE PRECIPITACION MEDIA ANUAL	225
A)	METODO POLIGONOS DE THIESSEN	225
B)	METODO ISOYETAS	231
-V.3	MODELO LLUVIA ESCURRIMIENTO	241
CAPITULO VI .- RESULTADOS		287
<p>En este capitulo se validaran los resultados obtenidos mediante procedimientos de cálculo manual frente a procedimientos en entorno de sistemas de información geográfica</p>		
-V.1	BASES DE VALIDACION	288
-V.2	SELECCIÓN DE CUENCAS	288
-V.3	CALCULO MANUAL Y AUTOMATIZADO CON	
PROCEDIMIENTO EN SIG		288
CAPITULO VII .- CONCLUSIONES		293
BIBLIOGRAFIA		295



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN





La determinación de escurrimientos de aguas superficiales revista una gran importancia desde el punto de vista ingenieril y consecuentemente social y económico. Para poder diseñar apropiadamente estructuras de aprovechamiento y control del recurso agua, es necesario conocer la magnitud y extensión de los escurrimientos.

Existen varias formas de calcular el escurrimiento producido por eventos de precipitación, algunos basados en simples correlaciones y otros más sofisticados que toman en cuenta la interacción de los diferentes componentes del sistema natural.

Un método que ha encontrado bastante aceptación, por su simplicidad y mediano requerimiento de información es el propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (USSCS). Este método se basa en la altura de precipitación y el valor de un parámetro conocido como número de curva (N_c) que toma en cuenta los rasgos característicos del suelo y su vocación.

La determinación de este parámetro requiere del procesamiento de una gran cantidad de información espacialmente distribuida, por lo que resulta un tanto laborioso.

Para solventar esta situación, el manejo de dicha información se puede llevar a cabo con la ayuda de herramientas de cómputo (Hardware y Software).

El propósito de este estudio es el de mostrar la aplicación de un SIG en la determinación de valores de N_c , tomando como caso específico y a modo de ejemplo la cuenca del Río de Coalcomán.

El objetivo de este trabajo es el de desarrollar una herramienta computacional basada en un SIG que permita la fácil y rápida determinación de valores de N_c , tomando como caso específico una cuenca hidrográfica.

Las metas propuestas son:

- . Diseñar una metodología para la recopilación de información.
- . Encontrar un SIG apropiado.
- . Aplicar metodologías de SIG para la determinación del N_c .

Para satisfacer las metas propuestas se realizó una investigación de trabajos previos, se adquirió la cartografía digital necesaria, se obtuvo la información alfanumérica requerida y se seleccionaron ArcView (versión 3.2).

El resultado de este trabajo consistió en la determinación del Número de Curva Medio para la cuenca del Río de Coalcomán.



CAPITULO II

LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA



II.1 ¿QUE ES UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA?

El término **SIG** procede del acrónimo de **Sistema de Información Geográfica** (en inglés **GIS, Geographic Information System**).

Técnicamente se puede definir un SIG como una **tecnología de manejo de información geográfica** formada por equipos electrónicos (**hardware**) programados adecuadamente (**software**) que permiten manejar una serie de **datos** espaciales (información geográfica) y realizar análisis complejos con éstos siguiendo los criterios impuestos por el equipo científico (**personal**).

Son por tanto, cuatro los elementos constitutivos de un sistema de estas características:

1. **Hardware.**
2. **Software.**
3. **Datos geográficos.**
4. **Equipo humano.**

Aunque todos ellos han de cumplir con su cometido para que el sistema sea funcional, existen diferencias en cuanto a su importancia relativa. A lo largo del tiempo, el peso de cada uno de los elementos dentro de un proyecto SIG ha ido cambiando mostrando una clara tendencia: mientras los equipos informáticos condicionan cada vez menos los proyectos SIG por el abaratamiento de la tecnología, los **datos geográficos** se hacen cada vez más necesarios y son los que consumen hoy día la mayor parte de las inversiones en términos económicos y de tiempo.

Así, hoy día el condicionante principal a la hora de afrontar cualquier proyecto basado en SIG lo constituye la disponibilidad de datos geográficos del territorio a estudiar, mientras que hace diez años lo era la disponibilidad de ordenadores potentes que permitieran afrontar los procesos de cálculo involucrados en el análisis de datos territoriales.

Pero 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, la particular naturaleza de 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 (como por ejemplo puede ser el de un banco) contienen sólo datos alfanuméricos (nombres, direcciones, números de cuenta, etc.), las bases de datos de un SIG han de contener además la **delimitación espacial** de cada uno de los objetos geográficos.

Por ejemplo, un lago que tiene su correspondiente forma geométrica plasmada en un plano, tiene también otros datos asociados como niveles de contaminación. Pongamos otro ejemplo para que esto se entienda mejor: supongamos que tenemos un suelo definido en los planos de clasificación de un planeamiento urbanístico como "urbanizable". Este suelo urbanizable tiene una serie de atributos, tales como su uso, su sistema de gestión, su edificabilidad, etc. Pero es que además, el urbanizable tiene una delimitación espacial concreta correspondiente con su propia geometría definida en el plano, Figura 2.1.

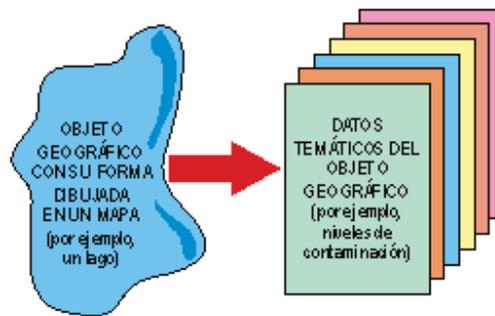


Figura 2.1, Ejemplo de un Lago y niveles de contaminación

Por tanto, el SIG tiene que trabajar a la vez con ambas partes de información: su forma perfectamente definida en plano y sus atributos temáticos asociados. Es decir, 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**.

Esta capacidad de asociación de bases de datos temáticas junto con la descripción espacial precisa de objetos geográficos y las relaciones entre los mismos (**topología**) es lo que diferencia a un SIG de otros sistemas informáticos de gestión de información.

II.1.1 LA CONSTRUCCION DE BASES DE DATOS GEOGRÁFICAS

La construcción de una base de datos geográfica implica un proceso de **abstracción** para pasar de la complejidad del mundo real a una representación simplificada asequible para el lenguaje de los ordenadores actuales. Este proceso de abstracción tiene diversos niveles como iremos viendo y normalmente comienza con la concepción de la estructura de la base de datos, generalmente en **capas**; en esta fase, y dependiendo de la utilidad que se vaya a dar a la información a compilar, se seleccionan las capas temáticas a incluir, Figura 2.2

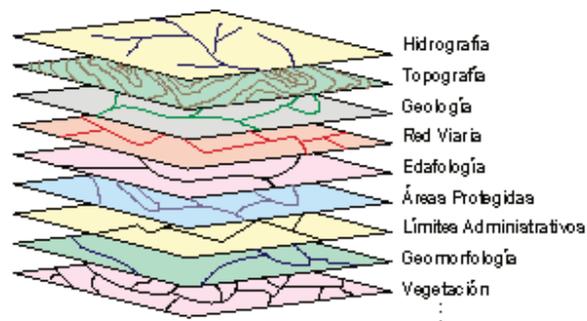


Figura 2.2, Capas temáticas en la construcción de bases de Datos

Pero la estructuración de la información espacial procedente del mundo real en capas conlleva cierto nivel de dificultad. En primer lugar, la necesidad de abstracción que requieren las máquinas implica trabajar con **primitivas básicas de dibujo**, de tal forma que toda la complejidad de la realidad ha de ser reducida a **puntos, líneas o polígonos**.

En segundo lugar, existen relaciones espaciales entre los objetos geográficos que el sistema no puede obviar; es lo que se denomina **topología**, que en realidad es el método matemático-lógico usado para definir las **relaciones espaciales** entre los objetos geográficos.

Aunque a nivel geográfico las relaciones entre los objetos son muy complejas, siendo muchos los elementos que interactúan sobre cada aspecto de la realidad, la topología de un SIG reduce sus funciones a cuestiones mucho más sencillas, como por ejemplo conocer el polígono (o polígonos) a que pertenece una determinada línea, o bien saber qué agrupación de líneas forman una determinada carretera.

Existen diversas formas de **modelizar estas relaciones** entre los objetos geográficos o topología. Dependiendo de la forma en que ello se lleve a cabo se tiene uno u otro tipo de Sistema de Información Geográfica dentro de una estructura de tres grupos principales:

- S.I.G. Vectoriales.
- S.I.G. Raster.
- S.I.G. Orientados a Objetos.

II.1.2 TOPOLOGIAS, MODELOS DE DATOS DE TIPOS DE SIG

En función del modelo de datos implementado en cada sistema, podemos distinguir tres grandes grupos de Sistemas de Información Geográfica: SIG **Vectoriales**, SIG **Raster** y SIG con modelo de datos **Orientados a Objetos**. En realidad, la mayor parte

de los sistemas existentes en la actualidad pertenecen a los dos primeros grupos (vectoriales y raster), Figura 2.3.

Aunque veremos posteriormente las diferencias entre ambos con más detalle, adelantaremos que los vectoriales utilizan vectores (básicamente líneas), para delimitar los objetos geográficos, mientras que los raster utilizan una retícula regular para documentar los elementos geográficos que tienen lugar en el espacio.

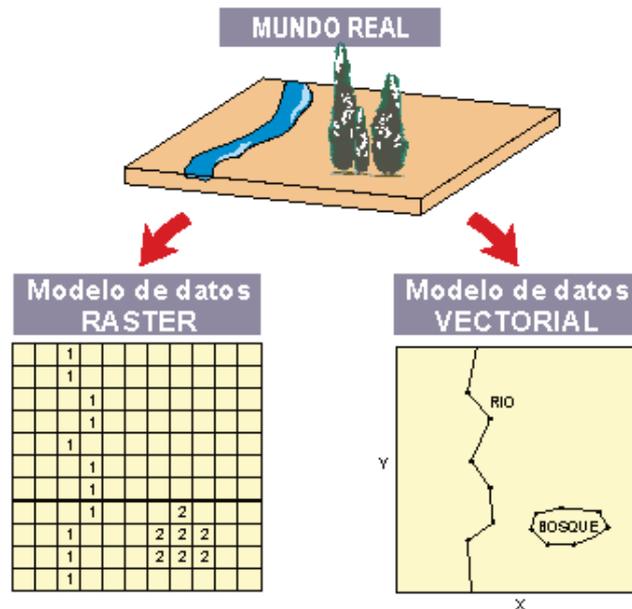


Figura 2.3, Diferencia entre el formato Raster y el formato Vectorial.

II.1.3 LOS SIG VECTORIALES

Son aquellos Sistemas de Información Geográfica que para la descripción de los objetos geográficos utilizan vectores definidos por **pares de coordenadas** relativas a algún sistema cartográfico.

Con un par de coordenadas y su altitud gestionan un **punto** (e.g. un vértice geodésico), con dos puntos generan una **línea**, y con una agrupación de líneas forman **polígonos**. De entre todos los métodos para formar topología vectorial la forma más robusta es la **topología arco-nodo**, cuya lógica de funcionamiento trataré de detallar en los siguientes esquemas, Figura 2.4.

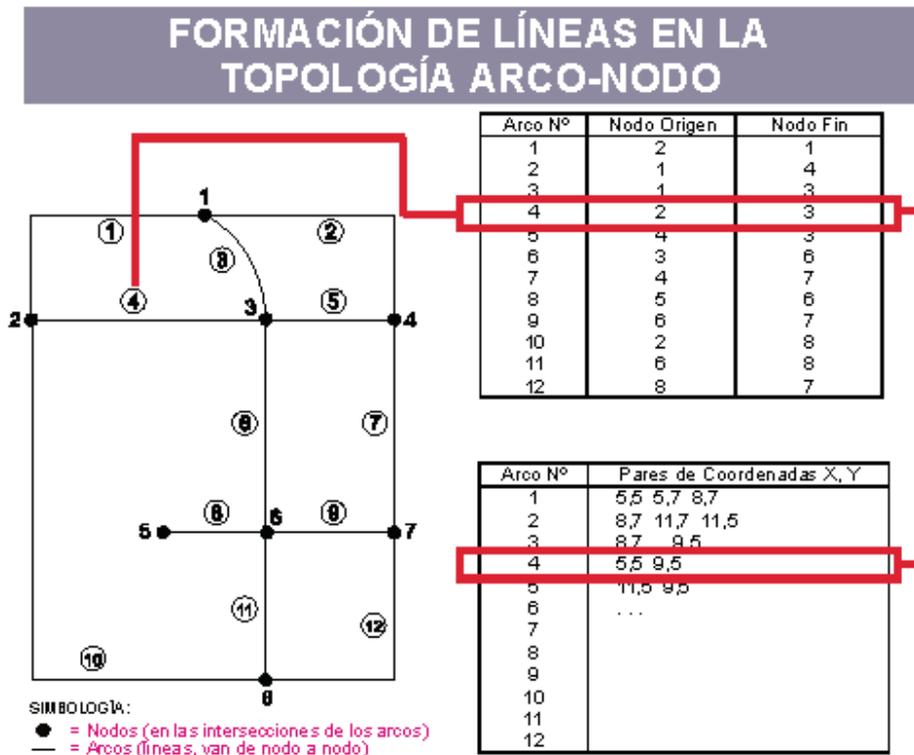


Figura 2.4, Formación de líneas en la topología arco-nodo.

La topología arco-nodo basa la estructuración de toda la información geográfica en pares de **coordenadas**, que son la **entidad básica** de información para este modelo de datos. Con pares de coordenadas (puntos) forma vértices y nodos, y con agrupaciones de éstos puntos forma líneas, con las que a su vez puede formar polígonos. Básicamente esta es la idea, muy sencilla en el fondo.

Para poder implementarla en un ordenador, se requiere la **interconexión de varias bases de datos a través de identificadores comunes**. Estas bases de datos, que podemos imaginarlas como tablas con datos ordenados de forma tabular, contienen columnas comunes a partir de las cuales se pueden relacionar datos no comunes entre una y otra tabla.

Hemos visto en el esquema anterior cómo se forman las líneas a partir de puntos (pares de coordenadas). Veamos ahora cómo se forman los polígonos a partir de la agrupación de líneas, Figura 2.5.

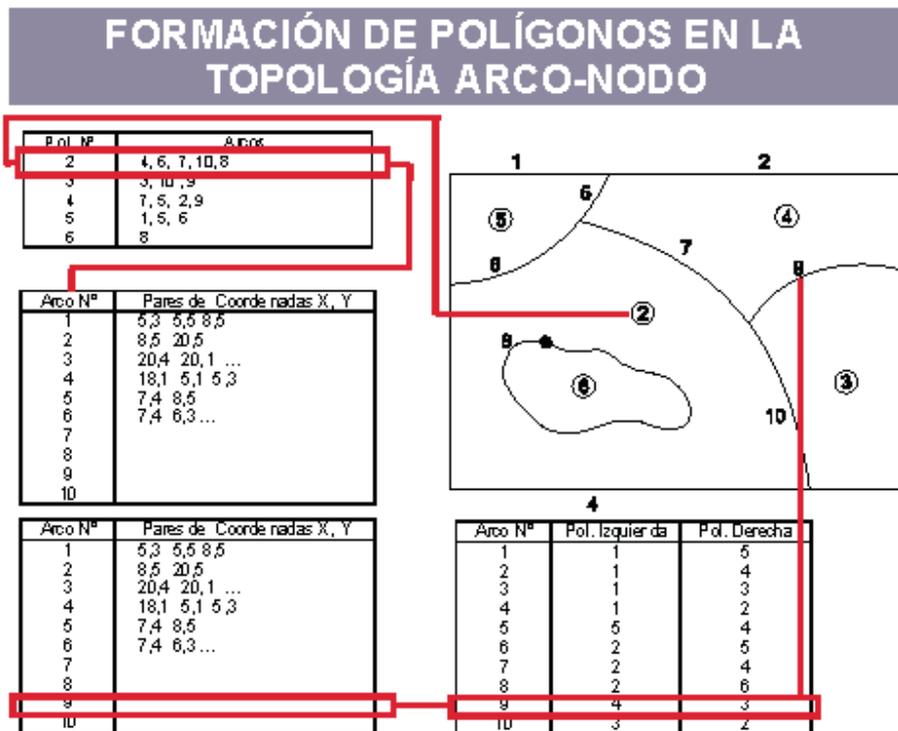


Figura 2.5, Formación de polígonos en la topología arco-nodo.

En general, el modelo de datos vectorial es adecuado cuando trabajamos con **objetos geográficos con límites bien establecidos**, como pueden ser fincas, carreteras, etc.

II.1.4 LOS SIG RASTER

Los Sistemas de Información Raster basan su funcionalidad en una **concepción implícita de las relaciones** de vecindad entre los objetos geográficos. Su forma de proceder es dividir la zona de afección de la base de datos en una retícula o **mall regular de pequeñas celdas** (a las que se denomina **pixeles**) y atribuir un **valor numérico** a cada celda como representación de su valor temático. Dado que la malla es regular (el tamaño del pixel es constante) y que conocemos la posición en coordenadas del centro de una de las celdas, se puede decir que todos los pixeles están georreferenciados, Figura 2.6.

Lógicamente, para tener una descripción precisa de los objetos geográficos contenidos en la base de datos el tamaño del pixel ha de ser reducido (en función de la escala), lo que dotará a la malla de una resolución alta. Sin embargo, a mayor número de filas y columnas en la malla (más resolución), mayor esfuerzo en el proceso de captura de la información y mayor costo computacional a la hora de procesar la misma.

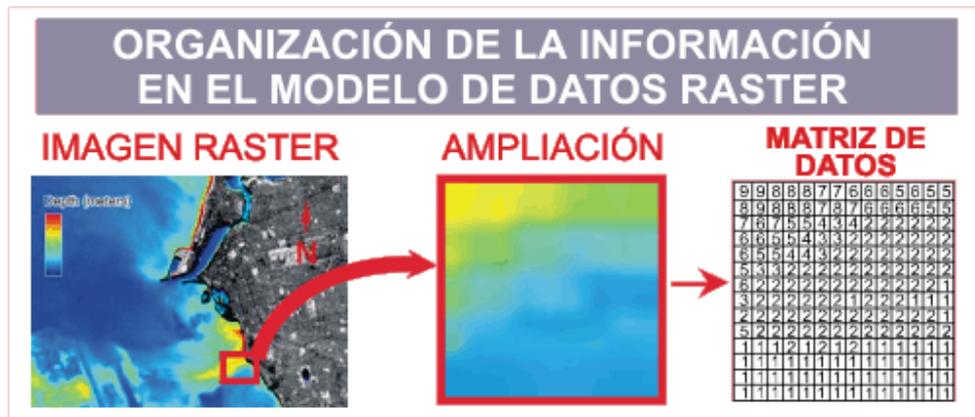


Figura 2.6, Organización de la información en el modelo de datos raster.

No obstante, el modelo de datos raster es especialmente útil cuando tenemos que describir **objetos geográficos con límites difusos**, como por ejemplo puede ser la dispersión de una nube de contaminantes, o los niveles de contaminación de un acuífero subterráneo, donde los contornos no son absolutamente nítidos; en esos casos, el modelo raster es más apropiado que el vectorial.

II.2 SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRÁFICOS EXISTENTES

En la actualidad existen diversos Sistemas de Información Geográfica (SIG) entre los que podemos mencionar:

ArcView 3.2, ArcGIS, Autodesk Map, Caris, CartaLinx, Geomedia, GeoPista, GeoServer, GRASS, gvSIG, IDRISI, ILWIS, Generic Mapping Tools, JUMP, Kosmo, LocalGIS, Manifold, MapGuide Open Source, MapInfo, MapServer, Maptitude, MapWindow GIS, MicroStation Geographics, Quantum GIS, SAGA GIS, GE Smallworld, SavGIS, SEXTANTE-gvSIG, SITAL, SPRING, TatukGIS, TNTMips, TransCAD, uDIG, cabe destacar que algunos programas pueden o no funcionar de acuerdo al sistema operativo que se esté utilizando.

II.3 EL ARCVIEW 3.2

ArcView es un producto del Environmental Systems Research Institute (ESRI), los fabricantes de ARC/INFO, el más importante software de sistemas de información geográfica (SIG). A diferencia de ARC/GIS, ArcView está optimizado para ver, consultar, analizar presentar en forma de mapas datos espaciales, no obstante es posible utilizarlo para elaborar información geográfica de una manera más sencilla que con ARC/GIS. Elaborar información geográfica es localizar puntos (p.ej. lugares),

líneas (p.ej. carreteras o ríos) o polígonos (p.ej. parcelas de terreno, campos de cultivo) del espacio y asignarles unos atributos.

ArcView es conocido como un SIG "desktop" o de escritorio, lo cual quiere decir que es una aplicación enfocada a usuarios finales y administradores de sistemas, los cuales no requieren de hacer complejos análisis y producir nueva información, sino consultar información que ya existe de una manera rápida y precisa en una interface amigable y accesible. Cuenta con importantes características de funcionalidad tales como tener una arquitectura abierta que no se encuentra ligada a una plataforma específica de hardware. Puede ser ejecutado sin problemas en las diferentes plataformas comerciales disponibles en el mercado, tanto en PC bajo NT como en estación de trabajo bajo sistemas UNIX, sin perder funcionalidad, ya que cuenta con la misma interface y herramientas de trabajo en ambos entornos. Cuenta con dos valores agregados primarios, un lenguaje de programación nativo denominado AVENUE el cual permite personalizar las funciones del programa y la interface de trabajo, así como un conjunto de extensiones especializadas que permiten al usuario realizar procesamientos más complejos de aquellos contenidos en el núcleo base, haciendo del entorno de ArcView una herramienta de visualización, consulta y análisis, poderosa, accesible y fácil de usar.

Las funciones de ArcView son similares a las de otros SIG, la diferencia es que está orientado a datos vectoriales, aunque también se puede trabajar con datos raster. A continuación se listan algunas de las funciones de ArcView:

II.3.1 VISUALIZACION

Arcview es capaz de visualizar y desplegar información raster y vectorial provenientes de diferentes formatos estándar, así como aquellos de la familia de productos de ESRI. De tal manera que es posible integrar datos provenientes de diferentes fuentes en un solo ambiente de despliegue, consulta y análisis.

II.3.2 GENERACION DE PRODUCTOS CARTOGRAFICOS

De manera rápida, sencilla y accesible, se pueden generar mapas de calidad profesional con diferentes tipos de datos tanto vectoriales como raster. Cuenta con todas las herramientas necesarias para crear los mapas de una manera automatizada con todos los elementos necesarios tales como leyendas o simbología, nortes, barras de escala, textos adicionales, logotipos e imágenes. La impresión de los mismos puede llevarse a cabo en impresoras convencionales o plotters de diferentes marcas y modelos.

II.3.3 CONSULTA GRAFICA Y TABULAR

Cuenta con las opciones para visualizar tanto datos gráficos como tabulares de manera ligada por la estructura de datos topológicas, de tal manera que pueden realizar selecciones interactivas, utilizando una entidad gráfica (polígono, círculo o línea), una expresión lógica o condición, expresando estos resultados visualmente por medio de gráficas de pie, barras ó líneas para hacer análisis comparativos. Así mismo, pueden realizarse clasificaciones mediante diferentes métodos en base a los atributos de los elementos de las diferentes capas de información para generar información temática. De esta forma una misma capa puede ser desplegada de diferentes maneras en base a sus atributos, por lo que es posible hacer comparaciones directas de la información e incluso graficaciones de la misma.

II.3.4 ANALISIS ESPACIAL

Arcview en su módulo base cuenta con herramientas especiales para realizar operaciones de análisis espacial entre capas de información, las cuales van desde sobre-posición gráfica de diferentes layers con la opción de ligar sus bases de datos, hacer análisis de área de influencia o afectación y establecer las relaciones existentes entre diferentes capas.

II.3.5 INTEGRACION DE DATOS

ArcView cuenta con la funcionalidad de desplegar diferentes formatos de información en un ambiente integrado, tales como dibujos CAD en formato DXF o DWG, archivos de texto o ASCII, coberturas en formato de Arcinfo, además de contar con un archivo de formato nativo denominado shapefile, entre los formatos vectoriales. Para los formatos raster puede visualizar archivos en formato TIFF, GIF, genérico binario, imágenes de satélite o mapas escaneados en formato de ERDAS Imagine .img o .lan, así como archivos GRID de Arcinfo. Finalmente en las bases de datos, de manera nativa trabaja los archivos en formato .dbf, por lo cual son accesibles las tablas provenientes de otros paquetes de software que manejen este mismo formato sin necesidad de conversión, archivo de texto ASCII y archivos en formato INFO.

II.3.6 DESARROLLO DE APLICACIONES

Por la funcionalidad del lenguaje de programación AVENUE es muy fácil incluso para usuarios no experimentados o que no tienen conocimientos de programación personalizar la interface de trabajo del software o realizar pequeñas aplicaciones. Cuenta además con la herramienta de "Dialog Designer", la cual integra nuevas funciones y objetos al ambiente de programación de manera accesible para los usuarios lo cual permite crear aplicaciones más complejas.

II.3.7 MANEJO DE BASE DE DATOS

Además de tener un manejador interno de bases de datos para la administración y control de las tablas de atributos de los elementos, cuenta con la opción de tener acceso a bases de datos relaciones tales como ORACLE, SYBASE, INFORMIX, SQL SERVER, entre otras. Como funciones nativas, permite manejo de tablas tales como adición o eliminación de campos, modificación de registros, uniones o relaciones de tablas.

II.4 EXTENSIONES DE ARCVIEW PARA HIDROLOGÍA

Módulos independientes, permiten realizar operaciones de análisis adicionales

- 3D, Analyst,
 - * Crea MDE con formato:
 - * .TIN (Triangle Irregular Network)
 - * GRID

- Spatyal Analyst
 - * Maneja y trabaja datos de formato RASTER
 - * Crea superficies para analizar

- Hec – GEOHMS

* Permite visualizar la información espacial, documentar características de la cuenca, realizar análisis espaciales, delinear cuencas y ríos, construir las entradas para modelos hidrológicos y ayudar en la preparación de informes.

Existen otras extensiones y funciones que permiten el acceso de ARCVIEW a otros formatos de datos, por ejemplo: AUTOCAD, Imágenes.

Las capacidades de la Extensión, se observan al pinchar en la ventana de extensiones, la extensión que se desea conocer.

II.4.1 HEC – GEOHMS (Geospatial Hydrologic Modeling Extension)

HEC-GeoHMS es una extensión para “ArcView 3.2” que ha sido desarrollada como un grupo de herramientas hidrológicas geoespaciales para ingenieros e hidrólogos con una limitada experiencia en sistemas de información geográfica (SIG). El programa permite visualizar la información espacial, documentar características de la cuenca, realizar análisis espaciales, delinear cuencas y ríos, construir las entradas para modelos hidrológicos y ayudar en la preparación de informes. Trabajando con HEC-GeoHMS a través de sus interfaces, menús, herramientas, en un entorno con ventanas, el usuario puede crear rápidamente entradas hidrológicas que pueden usarse directamente con HEC-GeoHMS. HEC-GeoHMS se usa para procesar los datos de la cuenca después de haber realizado una preparación y compilación inicial de los datos del terreno. La preparación de los datos del SIG puede ser realizado con

cualquier software estándar de SIG (ArcView, ArcGIS, etc). HEC-GeoHMS no es una herramienta para preparación de datos SIG. Ejemplos de datos necesarios para trabajar con HEC-GeoHMS incluyen un modelo digital de elevaciones (DEM), la localización digital de los cauces y de las estaciones de aforo. Cuando la preparación de los datos está lista, HEC-GeoHMS procesa al terreno y la información espacial para generar una serie de entradas hidrológicas, que le darán al usuario un modelo inicial para HEC-Geo HMS. El usuario puede estimar los parámetros hidrológicos a partir de las características de la cuenca y los cauces, precipitación medida y datos de caudales. Además, el usuario de HEC-GeoHMS tendrá plena libertad para modificar los elementos hidrológicos y su conectividad para representar más fielmente las condiciones reales.

II.5 HERRAMIENTAS INFORMATICAS COMPLEMENTARIAS

II.5.1 BASE DE DATOS: ACCESS, ARCINFO

Access. Microsoft Access es un sistema gestor de bases de datos relacionales (SGBD). Una base de datos suele definirse como un conjunto de información organizada sistemáticamente. En la terminología propia de las bases de datos hay tres conceptos claves dentro de las tablas: campo, registro y dato. Un campo es cada uno de los tipos de datos que se van a usar. Se hace referencia a los campos por su nombre. Un registro está formado por el conjunto de información en particular. Un dato es la intersección entre un campo y un registro.

Arcinfo: El que ahora vamos a conocer es un programa para PC y compatibles sobre sistema operativo DOS que permite la creación de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en formato vectorial. El mismo ha sido desarrollado por E.S.R.I. (Environmental System Research Institute) en California, Estados Unidos. Este programa responde a la necesidad de manejar gestionar y analizar volúmenes de datos espaciales junto con sus atributos temáticos asociados, todos ellos relacionados a un sistema de coordenadas terrestres.

De esta manera ARCINFO tiene organizado sus archivos vectoriales de tal forma que las capas temática y espacial se relacionan entre si a pesar de ser dos sistemas diferentes, de tal modo que cualquier modificación que introduzcamos en cualquiera de ellas se verá reflejado en la otra.

A modo de ejemplo cualquier modificación que introduzca en el formato de un polígono automáticamente la base de datos temática modificará su perímetro y superficie.

II.5.2 SURFER

Programa muy empleado para la construcción de Modelos Digitales del Terreno (MED o MDT) y representaciones topográficas.

Surfer es un programa para hacer mapas y trazar líneas de contorno en 3D para Windows únicamente. Con facilidad y rapidez, convertirá todos sus datos en mapas con contorno, superficie, wireframe, vector, imagen y sombras. Virtualmente todos los aspectos de sus mapas pueden ser personalizados para que produzcan exactamente la presentación que usted desea. Producir mapas de calidad de publicación jamás ha sido tan fácil y eficiente.



CAPITULO III

LA CUENCA DEL RÍO COALCOMÁN



III.1 ANTECEDENTES

El poblado de Coalcomán se ha establecido y desarrollado en la cuenca del río Grande de Coalcomán, en la confluencia del río Apamila, Chiquito y Ánimas. Este uso urbano no ha tenido en cuenta los riesgos de inundación probables que podría causar el río Chiquito al construir sobre su cauce y al borde del mismo, así como al bordo del río Ánimas y el mismo río Grande de Coalcomán.

El desarrollo económico del poblado estuvo conducido durante mucho tiempo, por la producción maderera; por lo que se fueron modificando las condiciones iniciales de usos de la cuenca, explotando de forma importante la flora existente.

Situación que ha ocasionado un peligro para la integridad de las personas y para la infraestructura existente.

III.1.1 LOCALIZACION

El poblado de Coalcomán de Vázquez Pallares se localiza en la región Sudoeste del estado de Michoacán en la región montañosa costera de la entidad, en las coordenadas 18°47' de latitud norte y a los 103°10' de longitud oeste, a una altura de 1,000 msnm. Limita al norte con el estado de Jalisco y el Municipio de Tepalcatepec, al este con Aguililla y Arteaga, al sur con Aquila, y al oeste con Chinicuilá. Su distancia a la capital del estado es de 352 Km, Figura 3.1.



Figura 3.1, Macrolocalización del municipio de Coalcomán en el Estado de Michoacán.

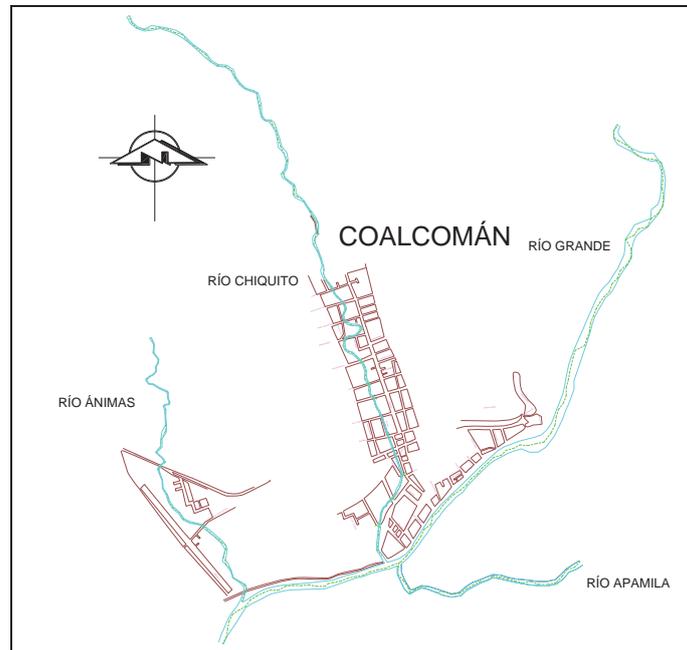


Figura 3.2, Detalle de la zona urbana y ríos de interés en la localidad de Coalcomán del Estado de Michoacán.

III.1.2 FISIOGRAFIA

El Municipio de Coalcomán pertenece al sistema montañoso de la Sierra Madre Sur. Es una región de gran complejidad donde predominan las rocas sedimentarias calizas, intrusitas cristalinas y metamórficas fuertemente afectadas por procesos tectónicos.

La mayor parte del municipio se encuentra en la sub-provincia de la Cordillera Costera del Sur, se compone por una sierra que se extiende a lo largo de la costa michoacana; la complejidad de estas sierras escarpadas, próximas al litoral, se refleja en una variada litología que va desde las rocas calizas del Cretácico, rocas ígneas intrusivas y extrusivas en el oeste, a las rocas metamórficas en el este, la cordillera se localiza en la Placa de Cocos, cuyos desplazamientos a través del tiempo son atribuibles al origen y evolución de esta región que presenta formaciones que exceden los 2,000 m. de altitud.

Una porción de superficie significativa la ocupa la sub - provincia Costa del Sur, que corresponde a una angosta costera, que inicia en los límites del Estado de Colima, en general, sus tramos más angosto, tienen un promedio de 20 kilómetros de ancho, está representada por sierras bajas de origen sedimentario, volcánico y metamórfico, con algunos valles y llanuras formados con materiales aluviales.

III.1.3 HIDROGRAFIA

El municipio de Coalcomán se ubica en la Región Hidrológica Costa de Michoacán (RH-17), de acuerdo a la clasificación Hidrológica Nacional. Esta región Hidrológica la conforman dos cuencas hidrológicas: La cuenca del Neixpa y la cuenca de Coalcomán, cuya extensión de esta última es de 2,306.5 Km². Esta cuenca se inicia hacia al Noreste en el puerto de las Cruces (nacimiento río Coalcomán), al norte con el cerro de las Tablas, que se encuentran a 1500 msnm, al noreste llega al puerto de la Zarzamora, al suroeste con la mesa de los Telares y el cerro de las Vacas, esta gran cuenca termina en el suroeste del municipio de Coalcomán. El río Coalcomán incorpora varios arroyos como son las Tinajas, el Chiquito, Los Ocotes u Ocorla, Garibay o Chichiua, Ixtala y San José. En su desembocadura toma el nombre de Cachan.

III.1.4 CLIMA

En el municipio predomina el clima cálido, en la parte montañosa es más templado y hacia el mar es tropical. La precipitación pluvial fluctúa entre 546 mm. (Mínima) y 1,276.8 mm. (Máxima). Y la temperatura media entre 17.8°C y 27.3°C. Tomando como base el periodo de observación de 29 años (1941 a 1970) reportado en el registro del servicio meteorológico nacional para la estación de Coalcomán.

III.1.5 POBLACIÓN

La población total del poblado de Coalcomán de acuerdo al Censo General de Población y Vivienda 2000 del Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática es de 10,439 habitantes, de los cuales 5,041 son hombres y 5,398 son mujeres. Los asentamientos humanos, en la Cabecera Municipal, que es el Poblado de Coalcomán, se ha desarrollado en la Vega de los ríos Chiquito y río Grande, los cuales representan un peligro potencial para los habitantes por las actuaciones en el río y avenidas que ocurren. Así mismo la colonia Tinoco Rubí está asentada a un lado del río Apamila en una zona de alto riesgo. El municipio de Coalcomán, se encuentra conformado por 498 localidades, siendo el más importante Coalcomán (cabecera municipal), Trojes (tenencia), Pantla (ejido), el Varaloso (ejido), Barranca Seca (ejido), San José de la Montaña (tenencia) y la Chichiua (rancho).

III.1.6 RECURSOS NATURALES (USO Y ESTADO ACTUAL)

El uso de los recursos naturales ha sido excesivo, en los últimos 25 años se han explotado los bosques con fines industriales, extrayendo madera de pino, encino, cedro, rosa morada, con deficientes programas de reforestación, lo que ha puesto en grave peligro la biodiversidad local y regional. Los incendios forestales son recurrentes año a

año. La capa de suelo de las regiones boscosas del municipio de Coalcomán es por lo general poco profunda, cuando se pierde la cobertura vegetal, por uso inmoderado (tala de árboles) o quemadas, el suelo es más propenso a sufrir erosión y deja de ser fértil en poco tiempo con un abatimiento del manto freático o acuíferos, porque la vegetación introducida en la zona no retiene el agua de lluvia y esta por tanto no se filtra en el subsuelo. Lo que origina escurrimientos rápidos hacia las partes bajas. En el poblado de Coalcomán se generan diariamente alrededor de 20 toneladas de basura doméstica diariamente, que son transportadas a un tiradero a cielo abierto que es una fuente constante de contaminación. Así mismo las aguas negras constituyen otro rubro importante de contaminación. El aserrín constituye otra fuente de contaminación para el medio ambiente ya que de lluvias es llevado por las corrientes de agua y este a su vez contamina los cauces de las cuencas. Además de ocasionar taponamientos y disminuir la sección transversal del cauce.

III.1.7 ACTIVIDAD ECONOMICA

En el municipio la actividad agrícola requiere un altísimo grado de uso de mano de obra. Se tienen 1,280 hectáreas de riego y 9,210 hectáreas de temporal, en las cuales se siembra primordialmente maíz. Haciendo un total de 10,490 hectáreas de uso agrícola. De acuerdo al XII Censo de Población y Vivienda del 2000, se produce alrededor de 1,500 toneladas de maíz pozolero, y mil toneladas de maíz mixtamalero.

En el uso actual del suelo existe 109,500 hectáreas de bosque, existe un registro de aproximadamente 20 empresas dedicadas a la explotación de estos recursos naturales (bosques), además pequeños talleres en donde se elaboran las cajas de empaque (27 microempresas) y 3 empresas que se dedican a la elaboración y terminado de muebles rústicos y finos, 6 patios de trocería, y 12 carpinterías que se dedican a la fabricación de muebles de diversos estilos. Cabe indicar que los aserraderos se encuentran en su mayoría en el poblado de Coalcomán.

III.2 INFORMACION DIGITAL DE LA CUENCA

III.2.1 INFORMACION DIGITAL: MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES, FORMATO RASTER

Para el estudio Hidrológico realizado en esta Tesis Profesional, fue necesario comprar un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), las cuales son vendidas por el INEGI y para esto fue necesario conocer la o las claves de los (MDE) donde estuviera el área en estudio, en este caso solo se necesitó un MDE debido a que el área de estudio se encontraba dentro de un MDE y este está en formato BIL, Figura 3.3.



Figura 3.3, Modelo Digital de Elevaciones (MDE) donde se encuentra la cuenca a estudiar, MDE en formato .bil.

La clave para este MDE de acuerdo a la posición establecida por la INEGI es la correspondiente a la clave E13B56, Escala 1:50,000, Formato Raster, Proyección UTM. Coordenadas geográficas.

La proyección cartográfica utilizada para la manipulación de la información geográfica fue la Universal Transversa de Mercator (UTM) por tanto los datos originalmente en coordenadas geográficas fueron transformados de acuerdo sistema geodésico de referencia ITRF 92 que es la que corresponde para la ubicación de la cuenca en el globo terráqueo.

El Modelo Digital de Elevación (MDE) es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la elevación de la superficie del terreno. La unidad básica de información de un MDE es un valor de elevación Z, al que acompañan los valores correspondientes de X e Y, que expresados en un sistema de proyección geográfica permiten una precisa referenciación espacial.

La unidad básica de información de un MDE es un valor de elevación Z, al que acompañan los valores correspondientes de X e Y, que expresados en un sistema de proyección geográfica permiten una precisa referenciación espacial, Figura 3.4.

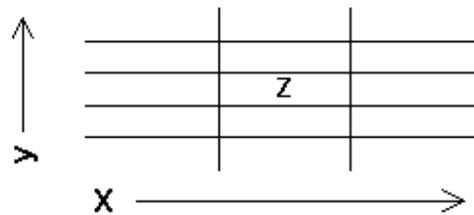


Figura 3.4, Sistema de Referencia Espacial.

Existen varias formas de representar estos modelos de elevación de acuerdo a la estructura y organización de los datos. Clásicamente dos formas son las más comunes de presentar los modelos (Felicísimo, 1994):

1. Vectorial: basado en entidades u objetos geométricos definidos por las coordenadas de sus nodos y vértices.
- 2.
3. Raster: basado en las localizaciones espaciales sobre una retícula regular de puntos a los cuales se le asigna el valor de elevación.

III.2.2 INFORMACION DIGITAL: MAPAS TIPO Y USO DE SUELO, FORMATO VECTORIAL

III.2.2.1 MAPA VECTORIAL TIPO DE SUELO

El Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) presenta la serie Conjuntos de Datos Vectoriales de la Carta Edafológica.

Los datos contenidos en cada Conjunto de Datos fueron obtenidos de la Carta Edafológica, mediante el uso de tecnología digital para el manejo de información geográfica, con metodologías y procesos diseñados por el INEGI, cumpliendo con normas técnicas, lo que permite obtener un producto que ayude a satisfacer las necesidades de los usuarios de este tipo de información, Figura 3.5.

Este producto ha sido concebido para atender demandas de información con referencia geográfica acerca del recurso suelo: características morfológicas, propiedades físicas y químicas, limitantes más severas al uso y manejo, tales como: profundidad somera, pedregosidad, salinidad, textura fina y gruesa de los 30 cm superficiales, etc. El diseño conceptual con el que se genera la información, la hace apropiada para manejarse en Sistemas de Información Geográfica o en Sistemas de Cartografía Asistida por Computadora, para aplicarse en el desarrollo de proyectos de cobertura regional en diversos campos en los que la información sobre la posición y distribución de los fenómenos geográficos es esencial.

En términos generales la información contenida es la siguiente:

- .- Tipos de suelos en base a la Clasificación Mundial de Suelos FAO/UNESCO/1970.
- .- Fases físicas y químicas, como limitantes severas al uso y manejo del suelo.
- .- Información puntual sobre perfiles de suelo.
- .- Información puntual sobre el sitio de muestreo

En detalle esta agrupación contiene los siguientes objetos o entidades geográficos.

Unidad Edafológica: Área que representa suelos en asociación hasta 3 tipos, excepcionalmente se presenta uno solo, el primer tipo es el dominante y así sucesivamente, los menos dominantes cubren una área mínima del 20 %. Cada Unidad se representa por una clave o etiqueta cuyo origen indica la dominancia de los suelos presentes. También muestra la textura de los 30 cm superficiales, fase física, fase química o ambas si están presentes, pertenecientes al suelo dominante.

Textura: Proporción porcentual de las partículas minerales (arena, limo y arcilla) que constituyen el suelo, en los 30 cm de profundidad.

Fase Física: Presencia y abundancia de grava, piedra o ambas, superficialmente y/o dentro los 50 cm o entre 50 a 100 cm de profundidad.

Fase Química: Presencia de sales solubles, sodio intercambiable o ambas por lo menos en una parte del suelo, a menos de 125 cm de profundidad.

Perfil de Suelo: Corte transversal del suelo en el cual se pueden analizar características físicas, químicas y biológicas de los horizontes que lo conforman.

Sitio de Muestreo: Lugar representativo del perfil del suelo donde se obtiene información acerca de las características ambientales, tales como: Clima, Geología, Vegetación y Uso del Suelo, Fisiográfica, Altitud, entre otras.

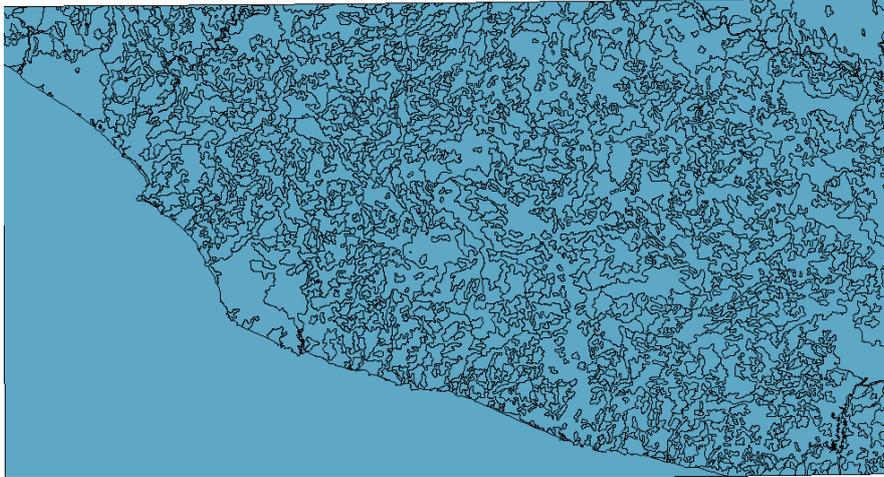


Figura 3.5, Mapa de Tipo de Suelo E1306e.

Especificaciones:

Escala: 1:250,000, Resolución: 1m, Dimensiones: dos dimensiones, Proyección Cartográfica: Universal Transversal Mercator (UTM), Cubrimiento: 1° de latitud por 2° de longitud, Sistema Geodésico de Referencia: NAD 27, Unidades: metros, Tipos de Datos: Vectorial, Formato de Transferencia: Shapefile.

III.2.2.2 MAPA VECTORIAL DE USO DE SUELO

Los datos contenidos en los Conjuntos de Datos Vectoriales de Carta de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250 000 fueron obtenidos mediante el uso de tecnología digital para el manejo de información geográfica, con metodologías y procesos diseñados por el INEGI, cumpliendo con normas técnicas, lo que permite obtener un producto que ayude a satisfacer las necesidades de los usuarios de este tipo de información.

Este producto ha sido concebido para atender demandas de información con referencia geográfica acerca de la cubierta vegetal y el uso del suelo: tipos de vegetación, estado actual de la vegetación, tipos de agricultura, permanencia de cultivos, etcétera.

El diseño conceptual con el que se genera la información, la hace apropiada para manejarse en Sistemas de Información Geográfica, para aplicarse en el desarrollo de proyectos de cobertura nacional y regional en diversos campos en los que la información sobre la posición y distribución de los fenómenos geográficos es esencial.

La información geográfica digital de los Conjuntos de datos de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250 000, contiene datos estructurados en forma vectorial y codificados de acuerdo con la Tabla de Atributos con que se acompaña. La tabla relaciona cada uno de ellos con la caracterización que se ha hecho en el Diccionario de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250 000 (Vectorial), 1997, de los diferentes objetos geográficos contenidos. Figura 3.6.

En términos generales la información contenida es la siguiente:

- Tipos de vegetación por su afinidad ecológica y composición florística.
- Estado de la vegetación según el tamaño de las especies presentes en los estadios sucesionales de la cubierta vegetal en recuperación después de la destrucción o modificación de la vegetación original.
- Tipos de Agricultura de acuerdo a la disponibilidad de agua durante el ciclo agrícola.
- Tipos de cultivos por su duración en el terreno durante el ciclo agrícola.
- Información puntual sobre especies botánicas representativas de la cubierta vegetal
- Información puntual sobre cultivos específicos presentes en áreas agrícolas.

En detalle esta agrupación contiene los siguientes objetos o entidades geográficas:

Área Agrícola.- Área en la que el suelo es utilizado para la realización de labores agrícolas.

Agricultura Nómada.- Tipo de agricultura en el que áreas relativamente pequeñas en zonas de bosque o selva son desmontadas y cultivadas durante uno o varios años y posteriormente son abandonadas al perder el suelo su fertilidad.

Bosque.- Vegetación arbórea, principalmente de zonas templadas y semifrías, en climas subhúmedos a muy húmedos, a veces secos.

Selva.- Vegetación arbórea en climas cálido - húmedos a cálidos semisecos. Se caracteriza por tener generalmente una gran variedad de especies de origen tropical.

Pastizal.- Comunidades vegetales caracterizadas por la dominancia de gramíneas (pastos o zacates) o gramínoideas. Aquí se incluyen pastizales determinados tanto por condiciones naturales de clima y suelo, como aquellos establecidos por influencia humana.

Matorral.- Vegetación arbustiva de altura, composición florística y densidad variable. Se encuentra generalmente en regiones áridas y semiáridas.

Otros tipos de Vegetación.- Comunidades vegetales con características ecológicas especiales: fisonomía, origen (suelos, fuego, agua, etcétera) que los diferencia de las formaciones vegetales típicas como bosque, selva, pastizal o matorral.

Área sin Vegetación.- Áreas desprovistas de vegetación o con una cobertura vegetal extremadamente baja. La ausencia de vegetación puede ser determinada por condiciones naturales: clima muy árido, salinas, o bien porque la vegetación fue

eliminada totalmente por actividades humanas; minas a cielo abierto, jales, sobrepastoreo, etcétera.

Zonas urbanas.- (obtenidas de los conjuntos de datos topográficos escala 1:250 000)

Cuerpos de agua.- (obtenidos de los conjuntos de datos topográficos escala 1:250 000)

Actividad Forestal.- Se indica la presencia de algún tipo de actividad forestal.

Actividad Pecuaria.- Se indica la presencia de algún tipo de actividad pecuaria.

Clave de Cultivos.- Clave de uno o más números utilizada para indicar la presencia de cultivos específicos.

Clave de Especies Vegetales.- Secuencia de una o más claves numéricas para indicar la presencia de especies botánicas representativas

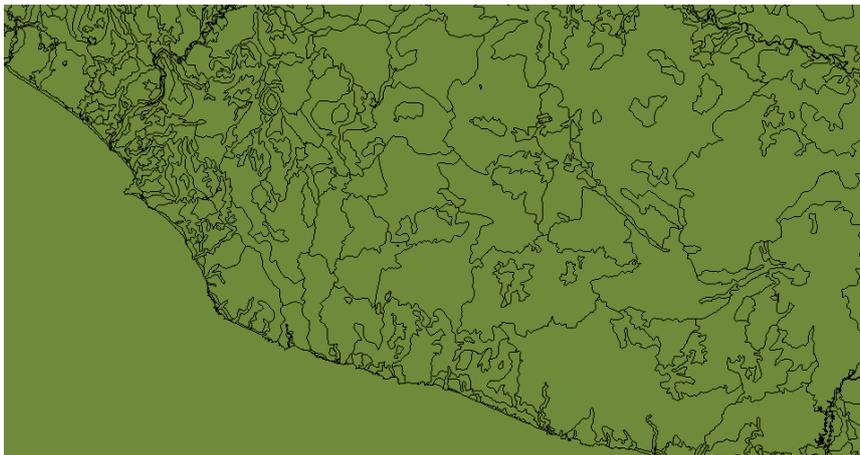


Figura 3.6, Mapa de Uso de Suelo, E1306u2v.

Especificaciones:

Escala:1:250,000, Resolución: 1 metro, Dimensiones: dos dimensiones, Proyección Cartográfica: Universal Transversal Mercator (UTM), Cubrimiento: 1° de latitud por 2° de longitud, Sistema Geodésico de Referencia: NAD 27, Unidades: metros. Tipos de Datos: vectorial, Formato de transferencia: Shapefile.

III.2.3 INFORMACION DIGITAL, MAPA TOPOGRAFICO

La siguiente carta topográfica fue utilizada para obtener la cuenca a estudiar delimitada por medio del programa “Autocad”. Más adelante se mostrará una comparativa de las cuencas obtenidas en “Autocad” y las obtenidas con “ArcView 3.2”, Figura 3.7.



Figura 3.7, Carta Topográfica donde se encuentra el área en estudio, de amarillo se aprecia el poblado de Coalcomán.

Especificaciones:

Zona de Vuelo: E13°6'9", Escala: 1:75,000 aprox, Fecha de Vuelo: Abril de 1999, Elipsoide: GRS80, Proyección, Univera Transversa de Mercator (UTM), Cuadrícula UTM a cada 1000m, Datum Horizontal: ITRF92, Referencia de Cotas: Nivel medio del Mar, Procedimiento de Compilación. Fotogramétrico,

III.3 INFORMACION NUMERICA: METEOROLOGIA, BASE DE DATOS ERIC (EXTRACTOR RAPIDO DE INFORMACION CLIMATOLOGICA) Y CLICOM (CLIMATOLOGIA COMPUTARIZADA)

Para el Estudio realizado en esta Tesis, fue necesario apoyarse en estas bases de datos para obtener algunos promedios de precipitaciones, evaporaciones, etc., los cuales son necesarios para determinar el Número de Escurrimiento que es necesario para proponer obras de protección.

La información meteorológica utilizada en el presente estudio es la relacionada con datos de precipitación y evaporación en las estaciones meteorológicas que se encontraron dentro y alrededor de las cuencas. Esta información fue obtenida de dos bases de datos ERIC y Clicom.

ERIC: Contiene la información climatológica de la base de datos Clicom, del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), perteneciente ésta a la CNA, tal como se encontraba en diciembre de 1999. Se trata de la información medida por la red de estaciones climatológicas existentes en el país, que informan sobre el valor de nueve parámetros meteorológicos cada 24 horas. Actualmente, esta red se halla a cargo de las gerencias estatales y regionales de la CNA. Su mantenimiento, y especialmente la recopilación y digitalización de la información correspondiente, no se realiza de la misma manera en cada una de las gerencias, por lo que esta base no es homogénea.

CLICOM: Este programa permite hacer consultas rápidas a la información climatológica contenida en la base de datos (CLICOM) y que se refiere a la red climatológica nacional perteneciente a la CNA, siendo el Servicio Meteorológico Nacional quien se encarga de mantener y actualizar dicha base.

Las estaciones de las cuales se obtuvo información meteorológica se listan en la Tabla 3.1.

DATOS FINALES DE LAS ESTACIONES

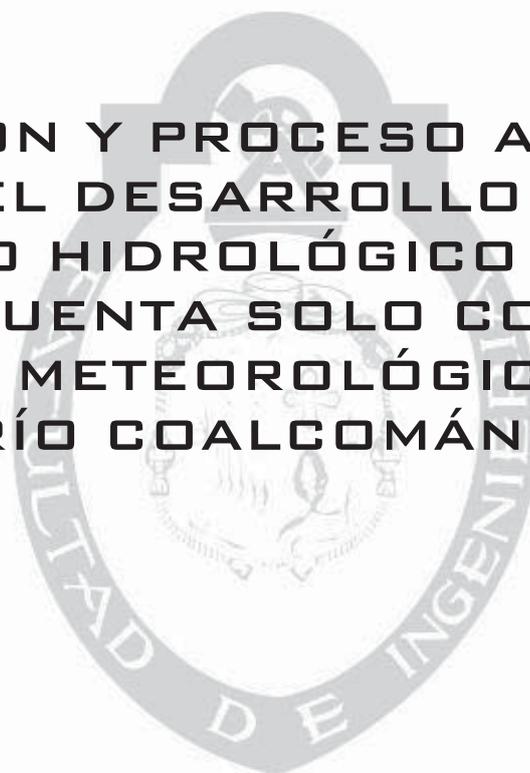
	PREC. MEDIA ANUAL	PREC. MAXIMA ANUAL	No. DE DATOS
AQUILA	1123.8	308	24
AGUILILLA	1008.46	192.5	30
CALLEJONES	891.66	204.6	40
EL GUAYABO	833.3	126.7	14

Tabla 3.1, Datos obtenidos de las bases de datos ERIC y CLICOM, después de un proceso para su cálculo.



CAPITULO IV

**INFORMACIÓN Y PROCESO A
SEGUIR PARA EL DESARROLLO DE
UN ESTUDIO HIDROLÓGICO
CUANDO SE CUENTA SOLO CON
INFORMACIÓN METEOROLÓGICA,
CASO DEL RÍO COALCOMÁN**



IV.1 OBJETIVO ESTUDIO HIDROLOGICO A DESARROLLAR

Esta tesis realizará el estudio hidrológico que permita determinar el gasto de diseño asociado a diferentes periodos de retorno, que probablemente ocurran en el río Grande y afluentes. La no existencia de estaciones hidrológicas nos llevan a determinar el gasto de diseño mediante métodos lluvia – escurrimiento. Por tanto se sigue el siguiente procedimiento para el desarrollo del estudio hidrológico; **primero**, evaluar y procesar toda la información hidrológica relacionada con el ciclo hidrológico; **segundo**, determinar las curvas intensidad – duración – periodo de retorno y el histograma sintético; y **tercero**, determinar el gasto de diseño mediante los métodos lluvia – escurrimiento.

La determinación del gasto máximo en la cuenca del río Grande y afluentes, se obtienen con la finalidad de mitigar las inundaciones en el poblado de Coalcomán.

IV.2 EVALUAR Y PROCESAR LA INFORMACION HIDROLOGICA (paso 1)

IV.2.1 IDENTIFICACION DE LAS CUENCAS Y CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

IV.2.1.1 INFORMACIÓN FISIOGRAFICA Y DETERMINACION DE LAS CUENCAS

La información fisiográfica de las cuencas del río Grande y afluentes se obtuvo de la carta topográfica escaneada del INEGI: Coalcomán E13B56. Para la determinación de las cuencas, la información se trabajó en “Autocad” y “CivilCad” (carta topográfica),

El procedimiento de determinación de las cuencas fue el siguiente, para cada cauce considerado se identificó el parteaguas, las corrientes principales y corrientes secundarias, Figura 4.1.



Figura 4.1, Muestra la Carta topográfica que se compro en el INEGI y se observa el parteaguas trazado en “Autocad”.

IV.2.1.2 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LAS CUENCAS

Para la determinación del gasto de diseño se requiere conocer algunas características geomorfológicas de la cuenca, entre ellas tenemos, el Área de la cuenca, Perímetro, longitud del Cauce Principal, etc.

Se obtuvieron las características geomorfológicas que se muestran en la Tabla 4.1, con ayuda de comandos de “Autocad”, “CivilCad” y procedimientos desarrollados en Excel.

<i>CARACTERÍSTICAS</i>		<i>GRANDE CHIQUITO APAMILA ANIMAS</i>			
Área de la cuenca (A)	Km ²	232.2243	25.1810	44.7431	6.9210
Perímetro (P)	Km	81.7444	24.5720	33.2800	11.7185
Longitud Cauce Principal (L)	Km	36.3181	10.6925	16.5251	5.8076
Pendiente Media Cauce Principal (S)	m/m	0.011188	0.018177	0.019634	0.040304
Pendiente Promedio de la Cuenca	m/m	0.405350	0.404027	0.396748	0.366666
Elevación Media	msnm	1,564	1,430	1,423	1,228

Tabla 4.1, Características Geomorfológicas de la cuenca.



Figura 4.2, Mapa de la Cuenca en general, dividida en las cuatro Áreas de Estudio.



Figura 4.3, Mapa con todas las corrientes dentro de la cuenca a estudiar.

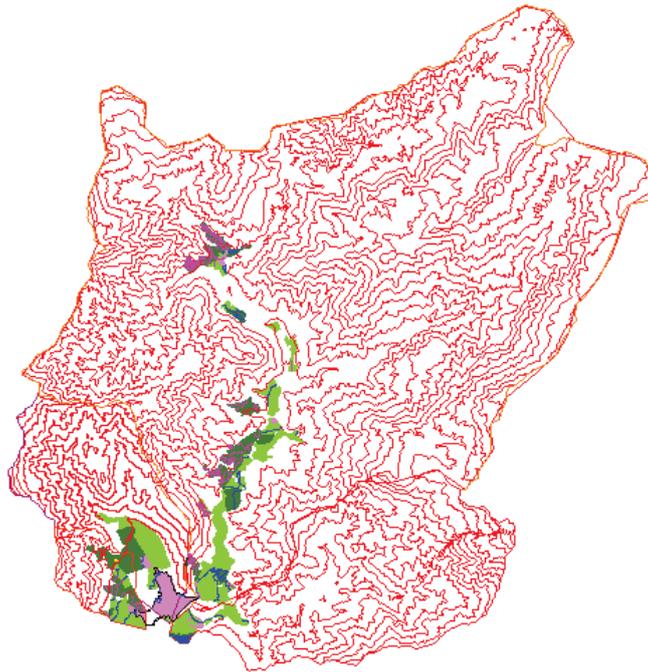


Figura 4.4, Mapa de las cuencas con curvas de nivel a cada 100m y su uso de suelo.

Los procedimientos de determinación de las características geomorfológicas son diversos: la obtención del Área (A) de las cuencas con “Autocad”, se obtuvo definiendo cada cuenca como superficie; la obtención del Perímetro (P) de las cuencas con “Autocad” se obtuvo definiendo el parteaguas como una polilínea. También se midió la longitud del cauce principal, que es la medida de la longitud de la corriente principal (L).

Para la obtención de la pendiente media del cauce principal de las cuencas, se trabajó con “Autocad” y “CivilCad” se obtuvo como resultado final el mapa de pendientes de los cauces principales. El método de cálculo fue el método de Taylor-Schwarz cuya ecuación está dada por:

$$S = \left(\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{s_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{s_n}}} \right)^2, \quad s_n = \frac{H_n}{l_n} = \frac{Elevación_n - Elevación_{n-1}}{l_n}$$

donde: S = pendiente del cauce principal; s_n = pendiente tramo de n-1 a n; n = número de tramos; l_n = longitud tramo n-1 a n; L = longitud total del cauce principal.

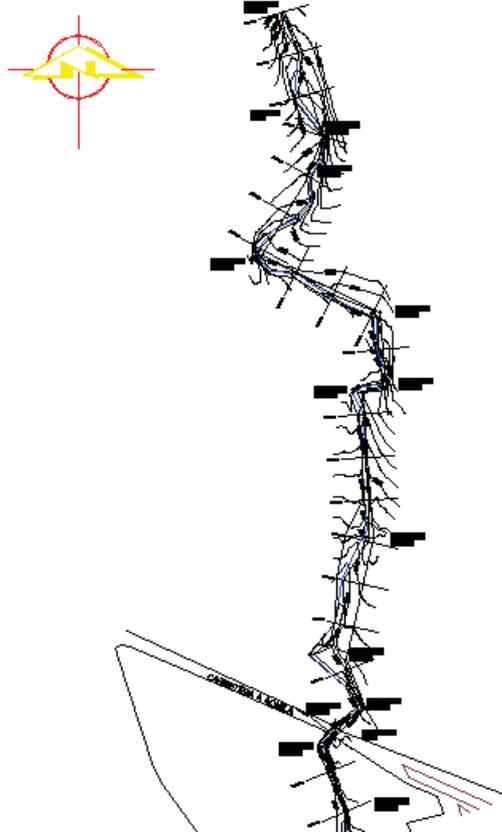


Figura 4.5, Arroyo las Animas vista en planta.

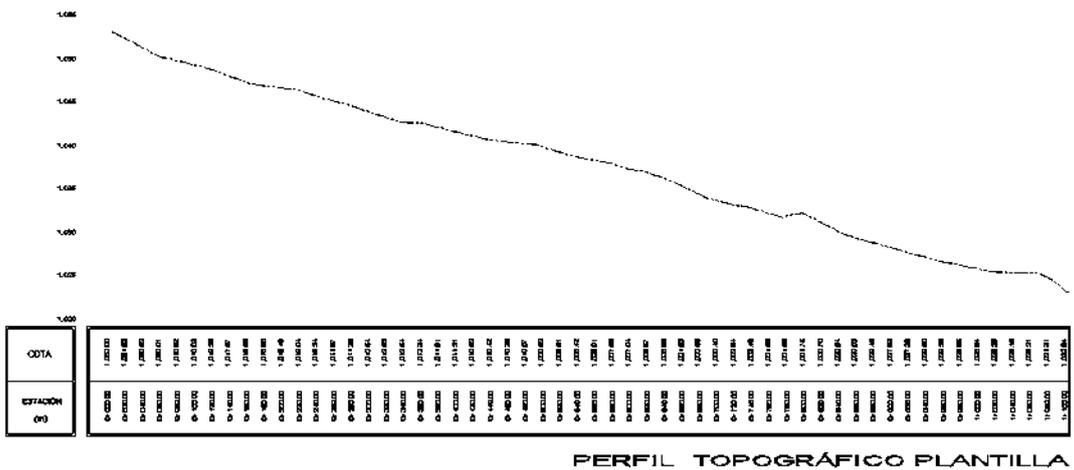


Figura 4.6, Perfil del cauce principal, Arroyo las Animas.

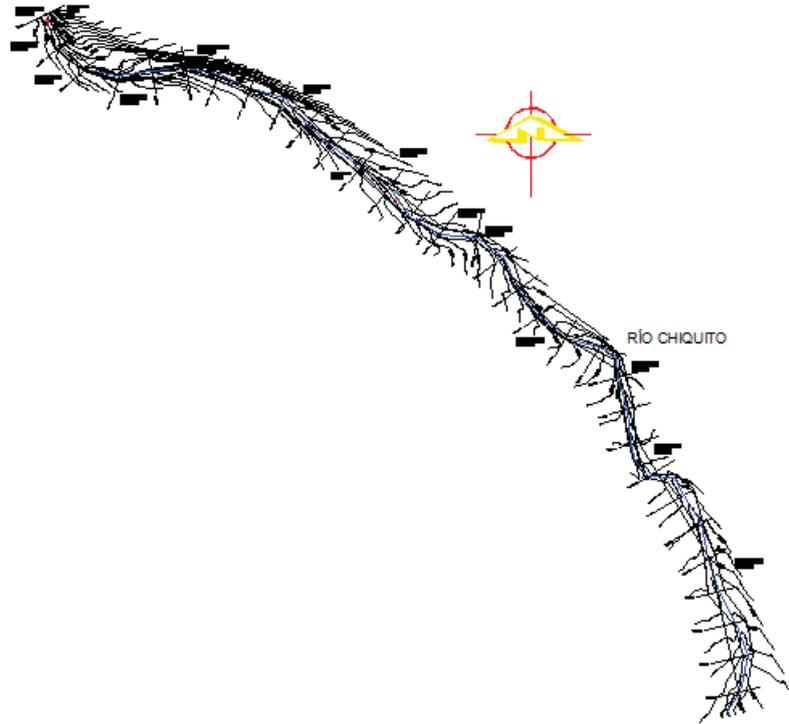


Figura 4.7, Mapa del Río chiquito vista en planta.

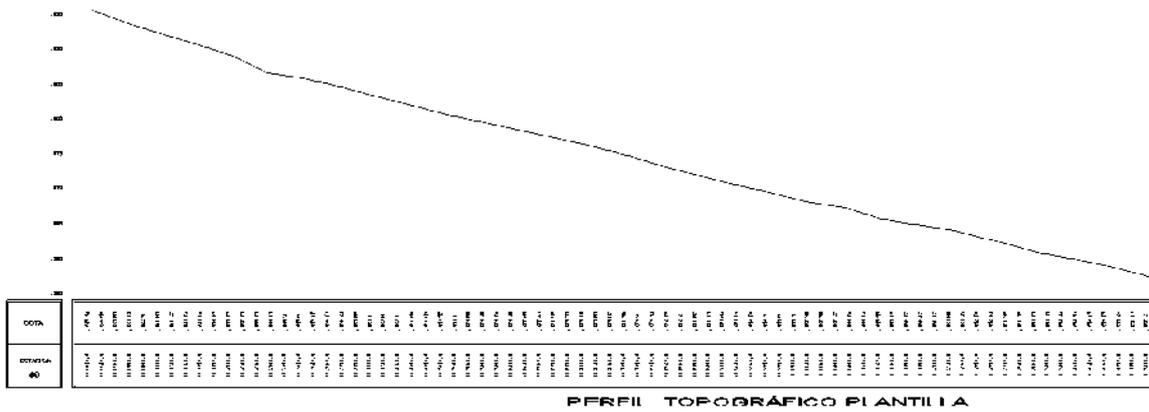


Figura 4.8, Perfil del cauce principal, Río Chiquito.

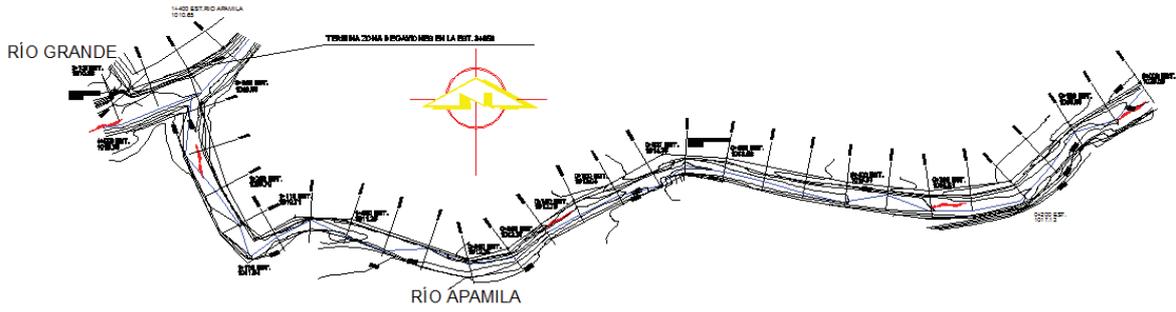


Figura 4.9, Mapa del Río Apamila vista en planta.

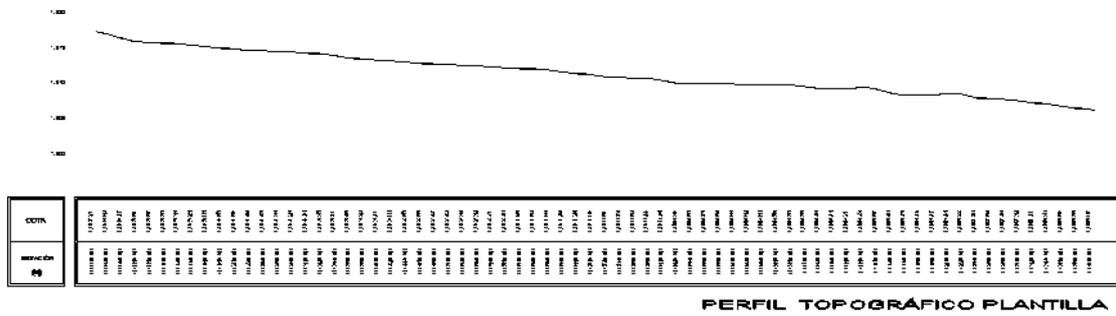


Figura 4.10, Perfil del cauce principal, Río Apamila.

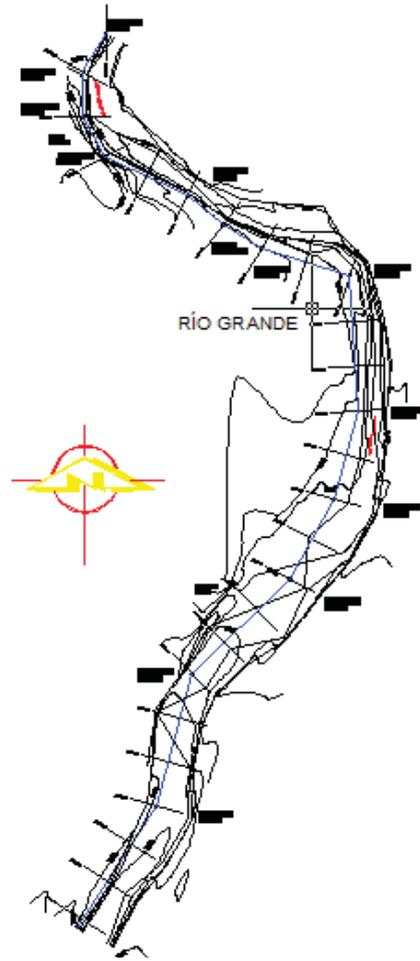


Figura 4.11, Mapa del Río Grande vista en planta.

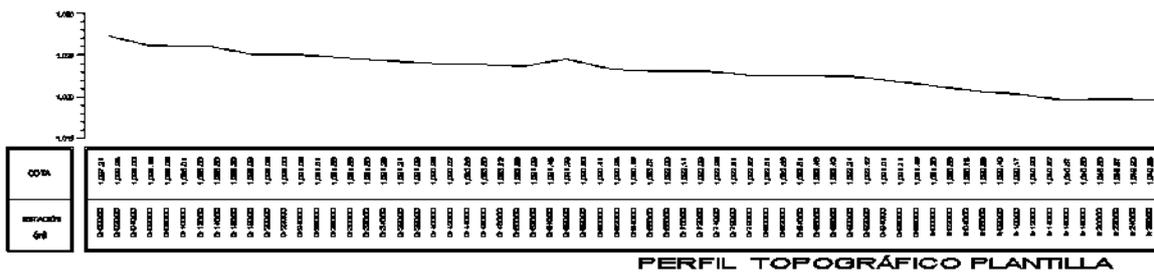


Figura 4.12, Perfil del cauce principal, Río Grande.

La variación de la elevación media de una cuenca incide sobre la distribución térmica.

El método seguido para la determinación de la elevación media es el de la curva hipsométrica. Esta curva representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca.

Información y proceso a seguir para el desarrollo de un Estudio Hidrológico

Se define como curva hipsométrica a la representación gráfica del relieve medio de la cuenca construida, llevando en el eje de las abscisas, longitudes proporcionales a las superficies proyectadas en la cuenca, en km² o en porcentaje, comprendidas entre curvas de nivel consecutivas hasta alcanzar la superficie total, llevando al eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas.

A continuación se presentan las tablas para el cálculo de las curvas hipsométricas para las cuencas de los ríos Grande, Apamila, Chiquito y Animas.

<i>Intervalos de curvas de nivel</i>	<i>Cota mayor intervalos</i>	<i>Área</i>	<i>Área acumulada</i>	<i>% Área Acumulada</i>
1000-1100	1100	13.496	13.496	5.8091
1100-1200	1200	19.7053	33.2013	14.2909
1200-1300	1300	20.5247	53.726	23.1254
1300-1400	1400	22.3806	76.1066	32.7587
1400-1500	1500	24.3518	100.4584	43.2405
1500-1600	1600	24.5034	124.9618	53.7876
1600-1700	1700	23.6268	148.5886	63.9573
1700-1800	1800	21.2186	169.8072	73.0905
1800-1900	1900	17.5356	187.3428	80.6384
1900-2000	2000	17.2854	204.6282	88.0786
2000-2100	2100	11.8602	216.4884	93.1836
2100-2200	2200	7.173	223.6614	96.2711
2200-2300	2300	5.3405	229.0019	98.5698
2300-2400	2400	3.0659	232.0678	99.8895
2400-2500	2500	0.2566	232.3244	100.00

Tabla 4.3, Datos curva hipsométrica, cuenca río Grande.

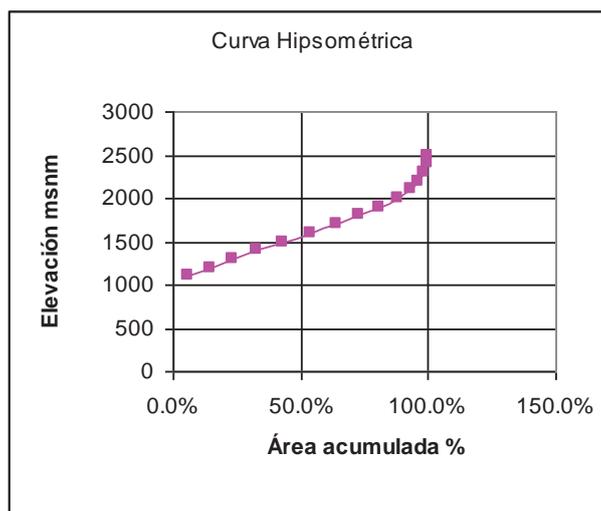


Figura 4.13, Curva Hipsométrica cuenca río Grande.

<i>Intervalos de curvas de nivel</i>	<i>Cota mayor intervalos</i>	<i>Área</i>	<i>Área Acumulada</i>	<i>% Área Acumulada</i>
1000-1100	1100	3.3551	3.3551	7.5037
1100-1200	1200	6.229	9.5841	21.4351
1200-1300	1300	6.1007	15.6848	35.0795
1300-1400	1400	5.5365	21.2213	47.4620
1400-1500	1500	5.049	26.2703	58.7543
1500-1600	1600	4.6234	30.8937	69.0947
1600-1700	1700	3.9511	34.8448	77.0084
1700-1800	1800	2.5873	37.4321	83.7180
1800-1900	1900	1.6718	39.1039	87.4570
1900-2000	2000	2.0718	41.1757	92.0907
2000-2100	2100	1.5311	42.7068	95.5150
2100-2200	2200	1.1011	43.8079	97.9777
2200-2300	2300	0.5025	44.3104	99.1015
2300-2400	2400	0.359	44.6694	99.9045
2400-2500	2500	0.0427	44.7121	100.00

Tabla 4.4, Datos curva hipsométrica, cuenca río Apamila.

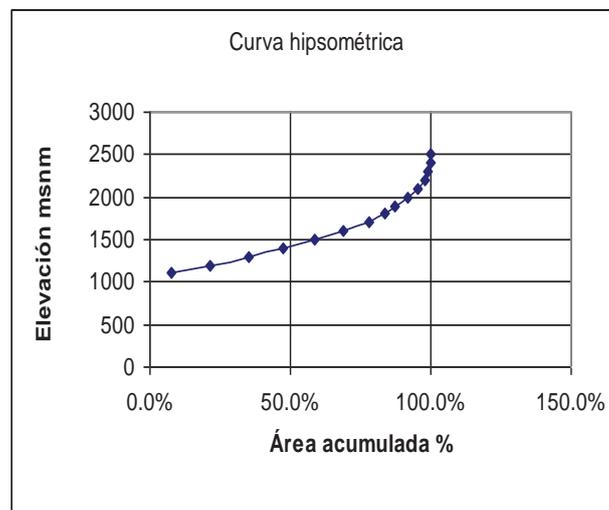


Figura 4.14, Curva Hipsométrica cuenca río Apamila.

<i>Intervalos de curvas de nivel</i>	<i>Cota mayor intervalos</i>	<i>Área</i>	<i>Área Acumulada</i>	<i>% Área Acumulada</i>
1000-1100	1100	4.0873	4.0873	16.2316
1100-1200	1200	1.9033	5.9906	23.7901
1200-1300	1300	2.3233	8.3139	33.0165
1300-1400	1400	3.3172	11.6311	46.1899
1400-1500	1500	3.2249	14.856	58.9968
1500-1600	1600	3.7127	18.5687	73.7409
1600-1700	1700	2.2491	20.8178	82.6726
1700-1800	1800	2.044	22.8618	90.7898
1800-1900	1900	1.1892	24.051	95.5124
1900-2000	2000	0.609	24.66	97.9309
2000-2100	2100	0.445	25.105	99.6981
2100-2200	2200	0.076	25.181	100.00

Tabla 4.5, Datos curva hipsométrica, cuenca río Chiquito.

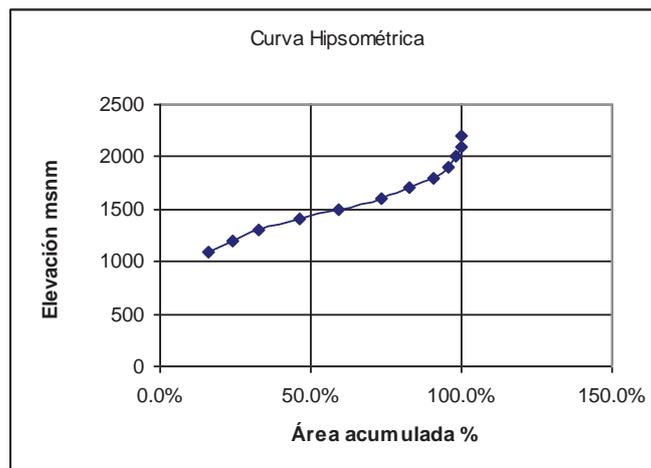


Figura 4.15, Curva Hipsométrica cuenca río Chiquito.

<i>Intervalos de curvas de nivel</i>	<i>Cota mayor intervalos</i>	<i>Área</i>	<i>Área acumulada</i>	<i>% Área Acumulada</i>
1000-1100	1100	2.2649	2.2649	33.1130
1100-1200	1200	0.9419	3.2068	46.8837
1200-1300	1300	0.7554	3.9622	57.9277
1300-1400	1400	0.7874	4.7496	69.4396
1400-1500	1500	1.0094	5.759	84.1971

1500-1600	1600	0.5932	6.3522	92.8697
1600-1700	1700	0.3309	6.6831	97.7075
1700-1800	1800	0.1568	6.8399	100.00

Tabla 4.6, Datos curva hipsométrica, cuenca río Animas.

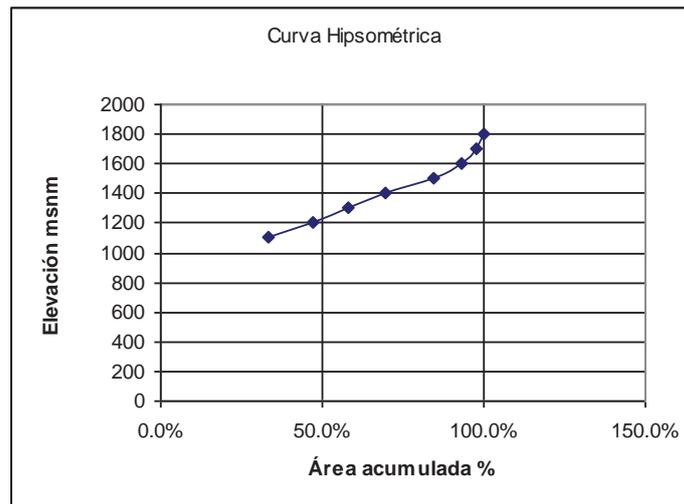


Figura 4.16, Curva Hipsométrica cuenca río Animas.

Las características geomorfológicas obtenidas para cada cuenca nos permiten un conocimiento de cada una de ellas.

IV.2.2 INFORMACION METEOROLOGICA: LLUVIA (DISTRIBUCIÓN Y SELECCIÓN)

Para la selección de las estaciones se hizo uso del mapa de estaciones de los estados de Michoacán, Colima y Jalisco así como de las Bases de Datos ERIC II producida por el IMTA y el CLICOM producido por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

El proceso de selección de las estaciones meteorológicas, parte del objetivo de seleccionar estaciones dentro de las cuencas en estudio, y cuando sea necesario seleccionar estaciones fuera, pero cercanas a las cuencas. Con los mapas de estaciones y la premisa anterior, el presente estudio dio como resultado la existencia de algunas estaciones fuera, cercanas y una dentro de las cuencas del río Grande y afluentes.

Estas estaciones seleccionadas se analizaron de forma rápida en las bases de datos de información meteorológica e hidrológica existente. Concluyéndose que la estación dentro de la cuenca había dejado de funcionar, quedando por seleccionar estaciones fuera de la cuenca que cumplan las siguientes premisas: más cercanas a las cuencas en estudio (que tengan influencia en las cuencas); sus registros contengan información reciente, el periodo de los registros sea suficientemente amplio o superior a 15 años

(aunque lo recomendable es 25 años); registros con la menor cantidad de vacíos y evitar el llenado de datos para lograr un alto grado de confiabilidad en los mismos. El grado de influencia de las estaciones en la cuenca, la amplitud y confiabilidad de los registros de cada estación nos permitirán obtener resultados confiables.

Quedando finalmente seleccionadas cuatro estaciones meteorológicas, AGUILILLA y AQUILA ubicadas en el estado de Michoacán; CALLEJONES ubicada en el estado de Colima, EL GUAYABO ubicado en el estado de Jalisco. La totalidad de la información de estas estaciones meteorológicas fue obtenida en las bases de datos antes indicadas, (figura 4.17).



Figura 4.17, Mapa de la cuenca en estudio con las estaciones climatológicas a su alrededor.

La Tabla 4.7, nos presenta un resumen de las cuatro estaciones con su respectiva precipitación media anual acumulada, su localización y su periodo de registro disponibles en la base de datos SMN.

Clave	Estación	Elevación media msnm	Coordenadas		Precipitación media anual acumulada (mm.)	Registro Base de Datos
			Longitud Oeste	Latitud Norte		
16003	Aguililla	970.00	18°44'00"	102°44'00"	1073	1943-03 1982-08
16008	Aquila	163.00	18°26'00"	103°23'00"	1127	1961-05 1999-04

06003	Callejones	24.00	18°50'00"	103°40'00"	787	1948-12 2002-02
14336	El_Guayabo	23.00	19°01'00"	103°23'00"	874	1980-06 2000-12

Tabla 4.7, Relación estaciones meteorológicas y periodo de registro del Servicio Meteorológico Nacional.

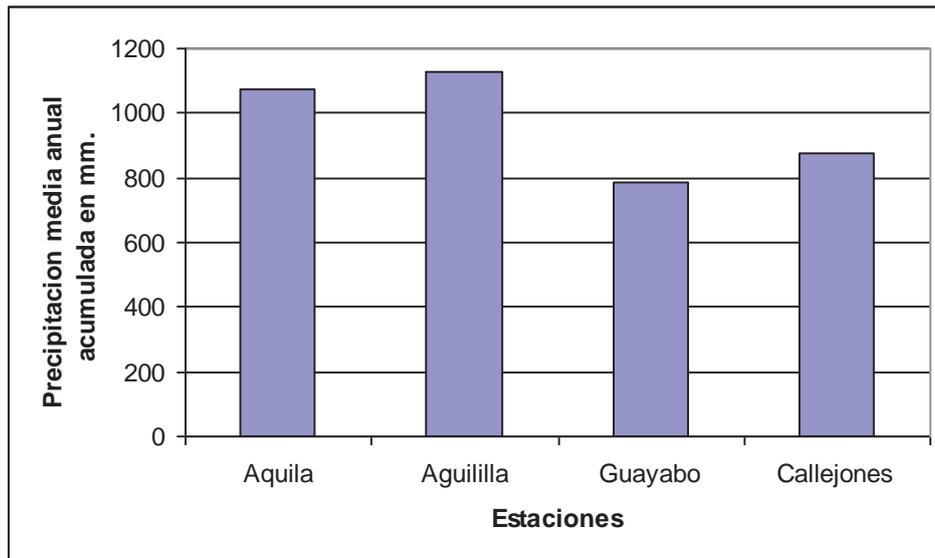


Figura 4.18, Precipitación media anual acumulada de las cuatro estaciones por el Servicio Meteorológico Nacional.

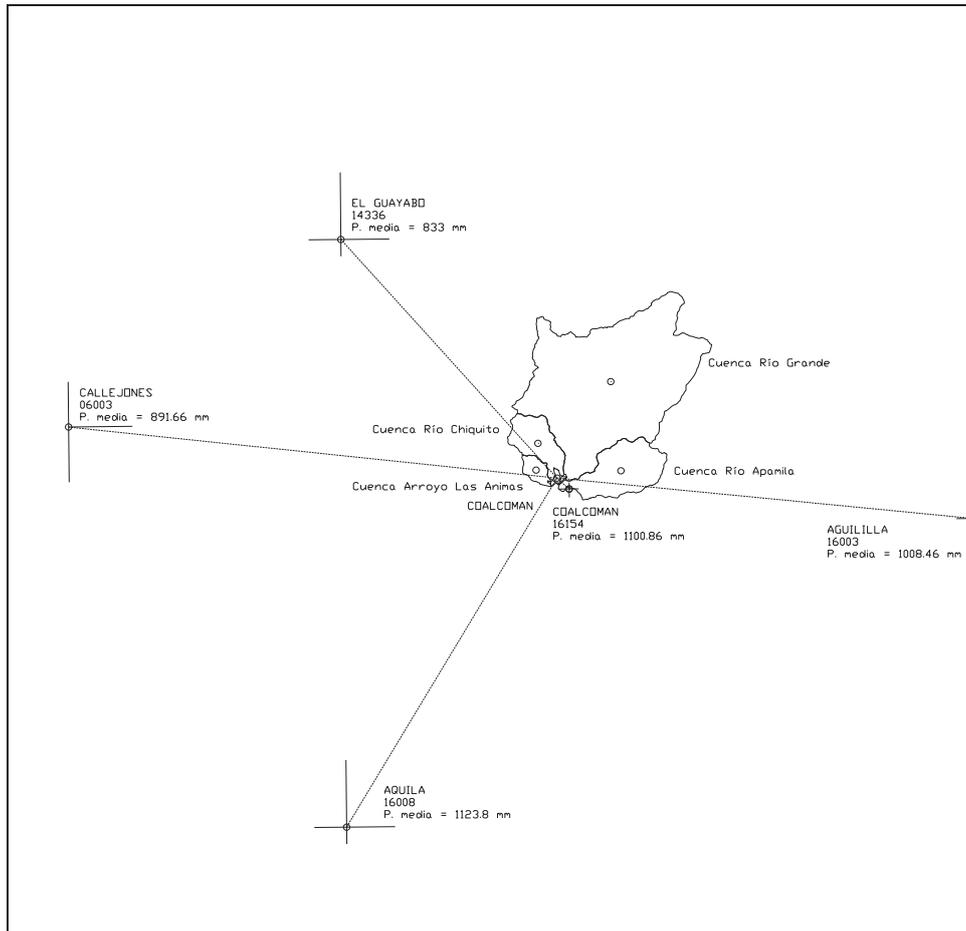


Figura 4.19, Cuenca en estudio y sub-cuencas, también se muestran las estaciones climatológicas y sus datos, realizados en Autocad.

IV.2.2.1 MANIPULACION Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS DE PRECIPITACION

Los registros de precipitación de cada una de las estaciones se trasladaron a Excel para ser manipulados y tratados. Los registros contienen información DIARIA, que fue pasada a mensual y luego a nivel anual. Así mismo se obtuvieron los estadísticos de media y máximo mensual. Al contar con información DIARIA que procede de un pluviómetro, no se cuenta con información horaria que nos permita determinar de forma directa el Hietograma característico de cada una de las cuencas, por tanto este se obtendrá mediante otros métodos establecidos.

Las Tabla 4.8 y 4.9, presentan un resumen de los estadísticos de cada una de las estaciones meteorológicas para la información de la precipitación.

Estación	Estadístico	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
AQUILA	MED	22.53	4.16	7.05	1.48	7.86	176.75	242.75	242.29	277.16	102.96	24.89	13.93	1123.80
	MAX	230.00	39.50	167.50	30.00	99.50	376.50	1131.00	380.00	465.40	232.50	227.00	81.00	1819.00
	A.MAX	1967	1968	1968	1973	1974	1966	1975	1977	1961	1971	1976	1974	1975
AGUILILLA	MED	12.28	2.88	4.02	7.29	21.09	193.50	239.72	197.51	194.85	108.27	19.05	8.00	1008.46
	MAX	226.00	31.00	106.00	114.00	83.00	372.00	351.50	335.80	370.54	288.00	147.10	40.10	1566.90
	A.MAX	1967	1965	1968	1959	1968	1966	1975	1969	1949	1960	1976	1974	1968
CALLEJONES	MED	16.44	2.10	4.38	18.18	13.97	141.49	166.72	202.47	201.62	96.11	16.53	11.65	891.66
	MAX	165.90	17.60	149.50	385.00	225.00	295.50	353.50	607.00	507.00	453.20	136.20	83.30	1548.90
	A.MAX	1967	1990	1968	1963	1957	1964	1975	1955	1955	1959	1997	1989	1957
GUAYABO	MED	40.76	3.49	1.21	0.00	13.68	161.43	169.23	175.83	170.54	68.60	14.22	14.32	833.30
	MAX	384.80	12.40	14.00	0.00	75.60	249.20	229.40	262.80	322.20	174.90	92.80	73.70	1225.90
	A.MAX	1992	1983	1983	0	1983	1986	1986	1981	1991	1992	1997	1989	1992

Tabla 4.8, Estadísticos precipitación acumulada para las cuatro estaciones meteorológicas, con la información obtenida en BANDAS y/o CLICOM.

Estación	Estadístico	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
AQUILA	MED	12.94	2.76	5.96	1.48	5.13	71.49	61.00	53.63	70.06	40.20	15.10	11.12	122.60
	MAX	107.00	23.00	142.00	30.00	69.50	252.00	308.00	100.00	197.50	150.80	132.50	75.50	308.00
	A.MAX	1967	1968	1968	1973	1974	1966	1975	1975	1961	1979	1976	1974	1975
AGUILILLA	MED	5.75	2.07	2.48	4.33	14.95	51.06	45.55	45.50	41.76	41.78	12.81	5.82	79.34
	MAX	76.00	26.00	60.00	45.00	63.00	192.50	69.00	123.00	106.00	100.00	72.80	40.10	192.50
	A.MAX	1967	1965	1968	1959	1968	1966	1959	1971	1948	1959	1976	1974	1966
CALLEJONES	MED	9.79	1.84	3.56	2.42	6.60	48.06	41.45	47.94	56.54	41.94	10.79	8.87	86.45
	MAX	69.50	17.60	121.80	20.00	101.00	135.60	102.90	98.10	204.60	196.30	79.40	60.00	204.60
	A.MAX	1984	1990	1968	1963	1983	1964	1966	1983	1967	1996	1982	1968	1967
GUAYABO	MED	14.06	3.46	1.21	0.00	11.06	43.91	41.11	51.64	48.09	29.55	8.16	7.89	68.82
	MAX	85.50	12.40	14.00	0.00	60.10	69.50	60.80	121.00	126.70	63.60	46.50	32.40	126.70
	A.MAX	1992	1983	1983	0	1983	1997	1991	1981	1991	1992	1997	1989	1991

Tabla 4.9, Estadísticos precipitación máxima 24 horas para las cuatro estaciones meteorológicas, con la información obtenida en BANDAS y/o CLICOM.

Cabe indicar que la información obtenida contaba con días de no datos N_D, los que se reflejaron en meses de N_D y años de N_D. Finalmente se separaron los años con N_D, y se obtuvieron los estadísticos de los años con datos.

IV.2.2.2 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN

Para determinar el régimen de precipitación, es de utilidad estudiar los registros históricos de las precipitaciones y estimar su rango de variación temporal. Se estudiaron los registros históricos de precipitación media mensual para las cuatro estaciones seleccionadas previamente, se determinó el porcentaje de precipitación.

La Figura 4.20 presenta la distribución temporal de la precipitación en las cuencas del río Grande y afluentes ubicados en el poblado de Coalcomán. Se observa que cerca del 70% de la precipitación se presenta en los meses de Julio, Agosto y Septiembre. Junio también se considera un mes lluvioso con un 16.54%. En conjunto estos cuatro meses aportan el 80% de la precipitación total anual. Los meses de invierno son los meses secos (1%). Identificando las cuencas con un régimen de lluvia continental.

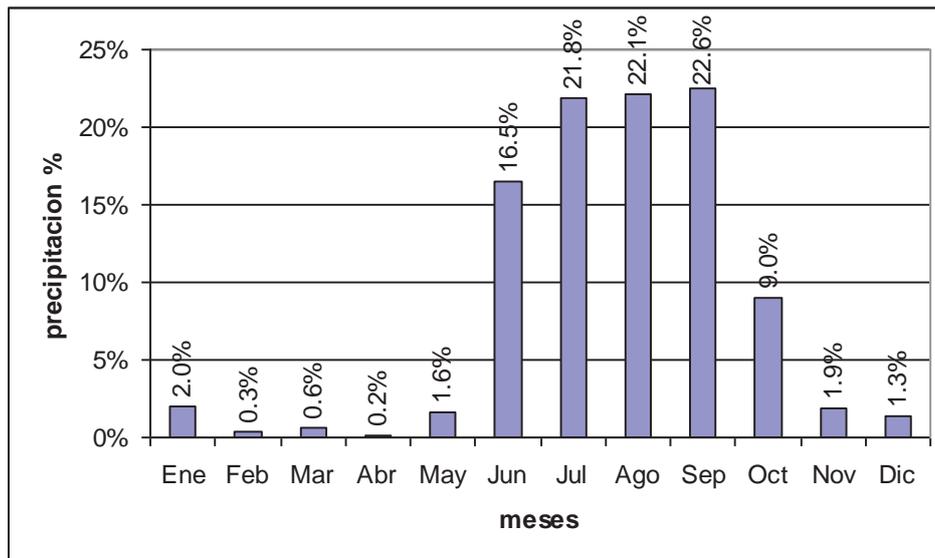


Figura 4.20, Distribución porcentual de la lluvia mensual dentro de las cuencas (estimación de las cuatro estaciones).

IV.2.2.3 ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA PRECIPITACION (precipitación media)

Entre los factores climáticos que mayor variabilidad registra año a año se encuentra la cantidad de lluvia precipitada en una determinada región hidrológica. Esta variabilidad de la precipitación no solamente está referida al tiempo sino al espacio, lo que significa que ellas también dependen de las condiciones locales. Con los datos de las series de precipitación acumulada anual histórica de las cuatro estaciones meteorológicas seleccionadas, se obtuvo la distribución espacial de las precipitaciones anuales, esto para el periodo de registro de 14 años para el Guayabo, 40 años para Callejones, 30 años para Aguililla y 24 años para Aquila (Tabla 4.8). Las Figura 4.21 y 4.22, muestra esta distribución espacial de la precipitación acumulada media anual, siendo más precisa por el método de Isoyetas. En el presente estudio (Tabla 4.10) se encontró que el intervalo de precipitación media para todas las cuencas del río Grande y afluentes se encuentra entre 880 mm. a 970 mm.

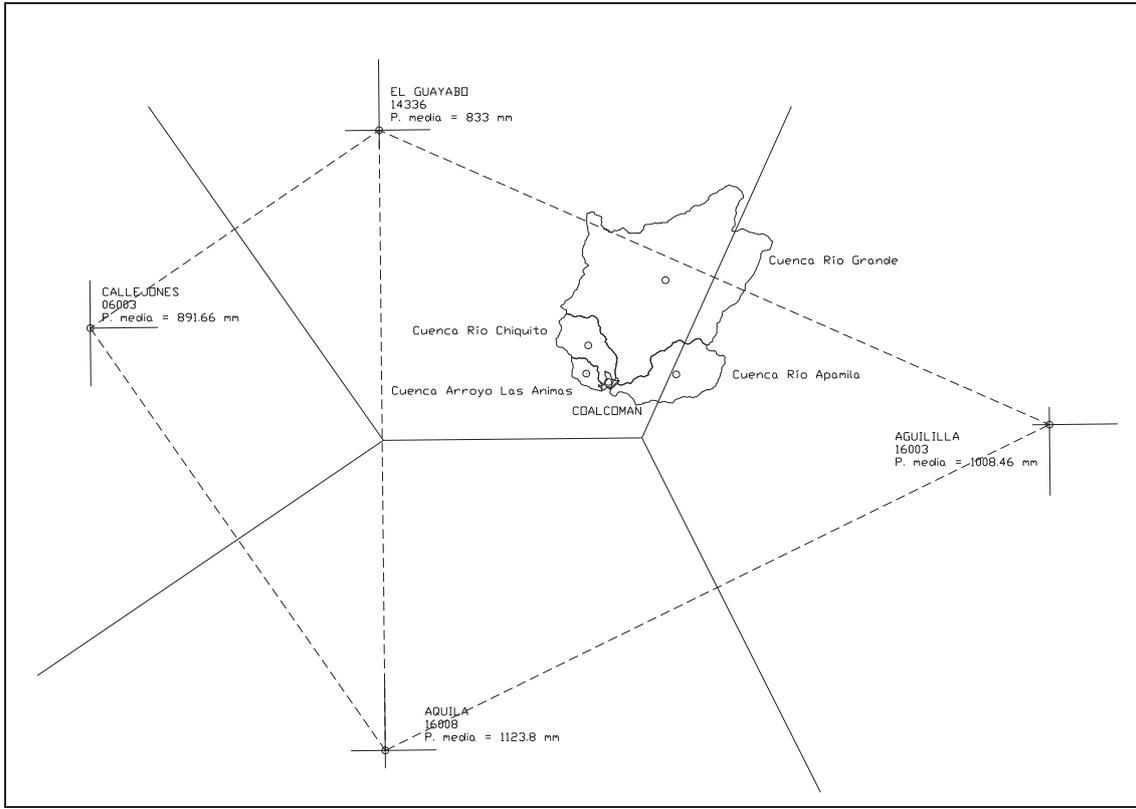


Figura 4.21, Distribución espacial de la precipitación media anual en las cuencas que llegan al poblado de Coacmalán (Método Polígonos Thiessen).

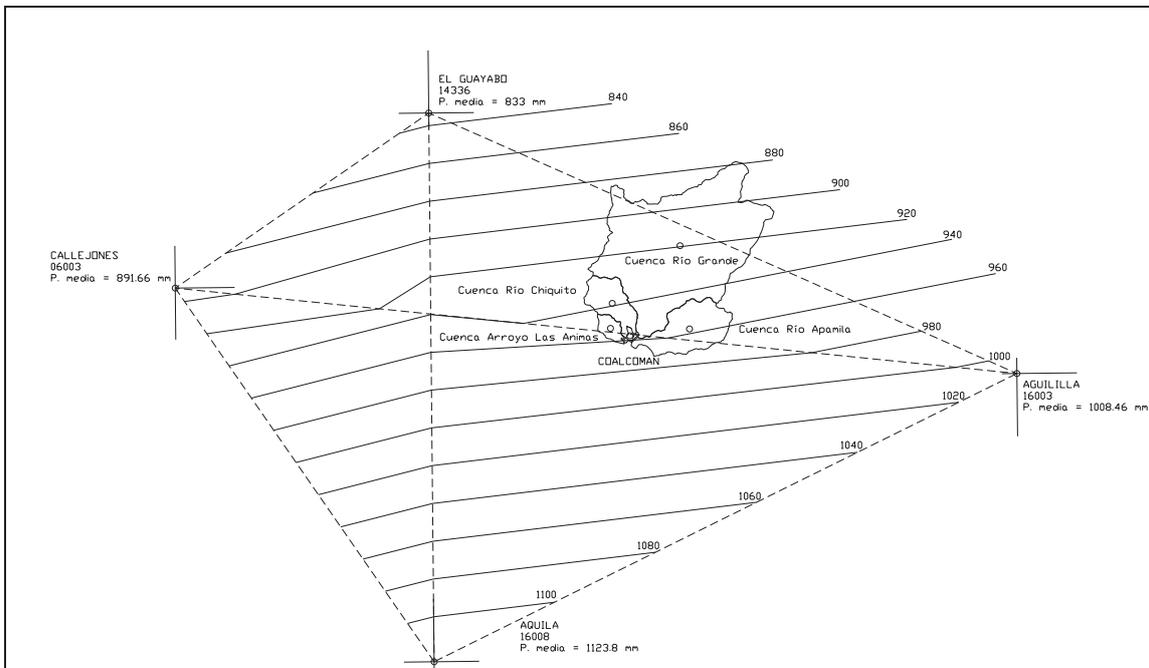


Figura 4.22, Distribución espacial de la precipitación media anual en las cuencas que llegan al poblado de Coalcomán (Método Isoyetas).

En particular se obtuvo para cada cuenca, la precipitación media anual en el centro de gravedad de cada una de ellas basados los métodos de los Polígonos de Thiessen e Isoyetas. En la Tabla 4.10, se presenta los resultados de los métodos y la memoria de cálculo de la determinación de la precipitación acumulada media anual.

<i>Cuencas y Poblado</i>	<i>Coordenadas Centro Gravedad</i>		<i>Polígonos de Thiessen, Método</i>		<i>Isoyetas mm.</i>		
	<i>Longitud Oeste</i>	<i>Latitud Norte</i>	<i>Thiessen, mm.</i>	<i>Método</i>	<i>Centro Gravedad</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
Grande	18° 52' 22.37"	103° 6' 21"	862.791	918.352	919.445	880	950
Apamila	18° 47' 3.33"	103° 5' 46.78"	935.458	958.371	957.751	930	960
Chiquito	18° 48' 44.37"	103° 10' 54.17"	833.300	938.265	938.97	945	970
Animas	18° 47' 8.81"	103° 11' 2.23"	833.300	950.676	952.467	945	960
Coalcoman	18° 46' 39.51"	103° 9' 45.06"					

Tabla 4.10, Precipitación acumulada media anual (mm) para las cuencas del río Grande y afluentes.

Del análisis de las precipitaciones medias por medio de los polígonos de Thiessen se observa, que la estación del GUAYABO tiene un 75% de influencia sobre la totalidad de las cuencas del río Grande y afluentes y AGUILILLA tiene un 25%. Del análisis de las distancias existente entre las estaciones y las cuencas se observa que la estación GUAYABO es la más cercana a las cuencas Grande, Chiquito y Animas, luego la estación AGUILILLA y GUAYABO son las más cercanas a la cuenca Apamila (Tabla 4.11). Del análisis de la distancia entre las estaciones y el poblado de Coalcomán se observa que la estación GUAYABO es la más cercana al poblado de Coalcomán. Por lo tanto la estación GUAYABO será la estación que aportará la información meteorológica para obtener el "Hietograma" característico para cada cuenca. No siendo necesario hacer uso de las otras estaciones de forma ponderada.

<i>Estación</i>	<i>Cuencas</i>				<i>Poblado Coalcoman</i>
	<i>Grande</i>	<i>Chiquito</i>	<i>Apamila</i>	<i>Animas</i>	
Aguililla	42.21	48.08	38.68	47.87	45.52
Aquila	56.79	47.05	49.26	44.33	44.68
Callejones	59.29	51.18	60.38	51.16	53.51
El Guayabo	33.30	31.03	39.71	33.09	35.24

Tabla 4.11, Distancia en Km de las estaciones al poblado y cuencas.

IV.2.3 INTERCEPCION O PRECIPITACION INTERCEPTADA, Po

Se entiende por precipitación interceptada a la precipitación que queda atrapada en la vegetación, más 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 anteriores, y al ser el mayor el tercero, se dice en muchos casos que la precipitación interceptada corresponde a la infiltración.

La precipitación interceptada: Po, depende del uso y tipo de suelo, esta precipitación permite calcular la precipitación en exceso: Pe. El método de cálculo para obtener la precipitación en exceso (ΣPe), se da a partir de la precipitación acumulada de una tormenta (ΣP) y la precipitación interceptada (Po), método desarrollado por la Soil Conservation Service:

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

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

Donde:

- ΣP Precipitación acumulada para el instante considerado, en cm.
- ΣPe Precipitación en exceso, en cm.
- Po Precipitación interceptada, en cm.

$$P_0 = \frac{508}{N} - 5.08$$

Donde:

- N Numero N de escurrimiento
- Po Precipitación interceptada, en cm.

De la ecuación de precipitación interceptada: Po, se observa que a cada curva N de escurrimiento, le corresponde una precipitación interceptada Po. Siendo por tanto importante obtener en una primera etapa el valor del número N de escurrimiento para cada cuenca y posteriormente determinar la precipitación interceptada.

La determinación del numero N de escurrimiento, se obtiene en base a los datos cuantificados y zonificados de uso de suelo, tipo de suelo y pendiente del suelo. Para los diferentes grupos tipo suelo – uso suelo - pendiente en las cuencas en estudio de, el valor N, se determina como un promedio pesado, de la forma siguiente:

$$N = \frac{N_1A_1 + N_2A_2 + \dots + N_3A_3}{A}$$

Donde:

A_i = Área de grupo tipo suelo – uso suelo – pendiente suelo

N_i = Numero escurrimiento correspondiente al área A_i

A = Área total

IV.2.4 INFORMACION DE USO DE SUELO Y TIPO DE SUELO

La información de **uso de suelo** de las cuencas del río Grande y afluentes se obtuvo de la carta de usos de suelo escaneada del INEGI: Coalcomán, Michoacán y Jalisco E13B56 a escala 1:50,000. También se hizo uso del Mapa Vectorial de uso de suelo E13-6 a escala 1: 250,000. La información de usos de suelo escaneada (información más antigua con relación a la ortofoto) se contrasto con la información más fina que aportan las ORTOFOTOS. Estas ortofotos corresponden al año 1999.

La información de **tipo de suelo** de las cuencas del río Grande y afluentes, se obtuvo de la carta edafológica escaneada del INEGI: E13B56 a escala 1:50,000. También se hizo uso del Mapa vectorial edafológico E13-6 a escala 1:250,000, Figura 4.23.



Figura 4.23, Ortofotos utilizadas para la identificación del Uso de Suelo y muestran la cuenca en estudio.

IV.2.4.1 CUANTIFICACIÓN DEL USO DE SUELO

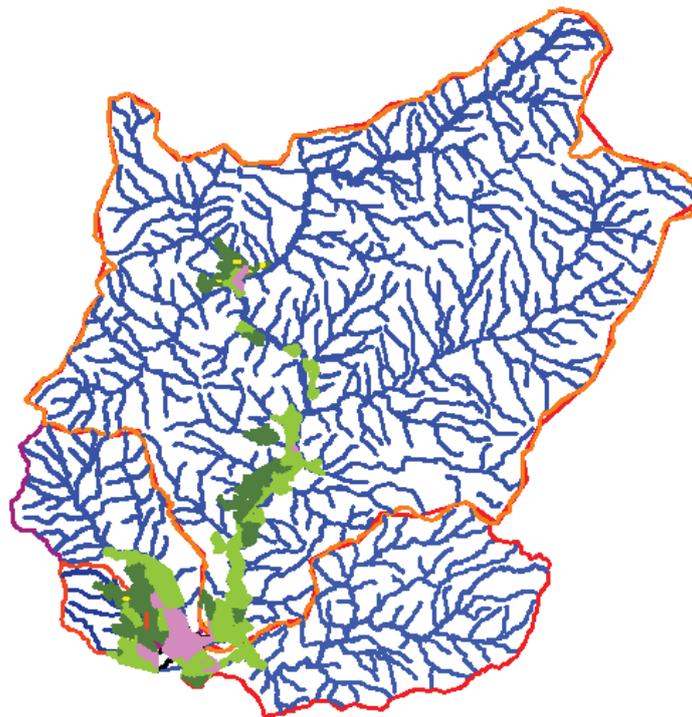
Para la cuantificación de los usos de suelo en las cuencas, se trabajó con “Autocad”, (figura 4.24), cuyo procedimiento era rodear las áreas con igual uso de suelo, siguiendo la clasificación de uso de suelo de la Tabla 4.12, del valor del número N de escurrimiento. Para las cuencas en estudio, se distinguen suelos cubiertos por bosques naturales ralos en su gran mayoría, seguido por suelos cubiertos por cultivos, luego suelos cubiertos por pastizales, y por último suelos cuyo uso es el urbano.

Uso de la tierra o cobertura	Condición de la superficie	Pendiente e terreno en %	Tipo de suelo				
			A	B	C	D	
Bosques (sembrados y cultivados)	Ralo, baja transpiración	-----	45	66	77	83	
	Normal, transpiración media	-----	36	60	73	79	
	Espeso o alta transpiración	-----	25	55	70	77	
Caminos	De tierra	-----	72	82	87	89	
	Superficie dura	-----	74	84	90	92	
Bosques naturales	Muy ralo o baja transpiración	-----	56	75	86	91	
	Ralo, baja transpiración	-----	46	68	78	84	
	Normal, transpiración media	-----	36	60	70	76	
	Espeso o alta transpiración	-----	26	52	62	69	
Muy espeso, alta transpiración	Muy espeso, alta transpiración	-----	15	44	54	61	
	Descanso (sin cultivos)	-----	77	86	91	94	
	Cultivos en surco	Surcos rectos	>1	72	81	88	91
		Surcos rectos	<1	67	78	85	89
Surcos en curvas de nivel (contorneo)	Surcos en curvas de nivel (contorneo)	>1	69	79	84	88	
	Surcos en curvas de nivel (contorneo)	<1	65	75	82	86	
Terrazas	Terrazas	>1	66	74	80	82	
	Terrazas	<1	62	71	78	81	
Leguminosas (sembradas con maquinaria o al voleo) o praderas con rotación	Surcos rectos	>1	66	77	85	89	
	Surcos rectos	<1	58	72	81	85	
	Surcos en curvas de nivel	>1	64	75	83	85	
Surcos en curvas de nivel	Surcos en curvas de nivel	<1	55	69	78	83	
	Terrazas	>1	63	73	80	83	
	Terrazas	<1	51	67	76	80	
Pastizal	-----	>1	68	79	86	89	
	-----	<1	39	61	74	80	
	Contorneo	>1	47	67	81	88	
	Contorneo	<1	6	65	70	79	
Potrero permanente	-----	-----	30	58	71	78	
Cereales	Surcos rectos	>1	65	76	84	88	
	Surcos rectos	<1	63	75	83	87	
	Surcos en curvas de nivel	>1	63	74	82	85	
	Surcos en curvas de nivel	<1	61	73	81	84	
	Terrazas	>1	61	72	79	82	
	Terrazas	<1	59	70	78	81	
Superficie impermeable	-----	-----	10	10	10	100	
			0	0	0		

Tabla 4.12, Valor del numero "N" de escurrimiento.

Cuenca	Áreas por uso de suelo en m ²				Área Total (m ²)
	CULTIVO	PASTIZAL	POBLADO	BOSQUES	
Grande	5,244,800	2,629,300	125,700	224,224,500	232,224,300
Apamila	891,100	167,400	55,100	43,629,500	44,743,100
Chiquito	1,528,800	728,000	1,054,500	21,869,700	25,181,000
Animas	1,551,100	1,253,200	127,400	3,989,300	6,921,000

Tabla 4.13. Áreas por uso de suelo para cada cuenca.



	m ²		
	CULTIVO	POBLADO	PASTIZAL
AREA 1 = 207159.2417m ²	AREA 1 = 63971.8438m ²	AREA 1 = 22477.4979m ²	
AREA 2 = 88920.0480m ²	AREA 2 = 11214.1851m ²	AREA 2 = 48558.1011m ²	
AREA 3 = 80147.8984m ²	AREA 3 = 88821.3078m ²	AREA 3 = 132804.8243m ²	
AREA 4 = 187744.0530m ²	AREA 4 = 17480.9777m ²	AREA 4 = 604148.2387m ²	
AREA 5 = 431486.6343m ²	AREA 5 = 33087.1321m ²	AREA 5 = 133812.4384m ²	
AREA 6 = 172933.8182m ²	AREA 6 = 854843.5183m ²	AREA 6 = 16888.8713m ²	
AREA 7 = 458885.5707m ²	AREA 7 = 13820.2202m ²	AREA 7 = 939773.4085m ²	
AREA 8 = 328908.5327m ²	AREA 8 = 113778.4443m ²	AREA 8 = 115857.1951m ²	
AREA 9 = 719833.8263m ²	AREA 9 = 33070.1489m ²	AREA 9 = 168037.1341m ²	
AREA 10 = 27853.4677m ²	AREA 10 = 10384.8218m ²	AREA 10 = 188227.3828m ²	
AREA 11 = 503811.7188m ²	AREA 11 = 11878.1110m ²	AREA 11 = 244878.4288m ²	
AREA 12 = 43772.1084m ²		AREA 12 = 88840.7238m ²	
AREA 13 = 705374.2540m ²		AREA 13 = 328450.3121m ²	
AREA 14 = 678217.8528m ²		AREA 14 = 287481.0423m ²	
AREA 15 = 168838.4437m ²		AREA 15 = 82389.7901m ²	
AREA 16 = 200237.8644m ²		AREA 16 = 80842.5890m ²	
AREA 17 = 1284772.7307m ²		AREA 17 = 187381.0884m ²	
TOTAL	9215734.36	1489796.84	4777874.97

Figura 4.24. cuantificación del Uso de Suelo.

IV.2.4.2 CUANTIFICACION DEL TIPO DE SUELO

Para la determinación de los tipos de suelo, se trabajó con AUTOCAD, (figura 4.25), siguiéndose el mismo procedimiento de manejo de datos de los usos de suelo, distinguiéndose suelos tipo B: Arenas (en el MAPA se corresponde a la clase textural 2) y suelos de Tipo C: Arenas muy finas y bastantes arcillas y Tipo D: Arcillas en grandes cantidades (en el MAPA se corresponde a la clase textural 3). El MAPA resultante se adjunta al final del presente documento. En la Tabla 4.14 se indican las áreas para cada tipo de suelo y por cuenca.

Cuenca	Áreas por tipo de suelo		Área Total (m ²)
	B	C y D	
Grande	28,9467	203,2776	232,224,300
Apamila	5,1772	39,5659	44,743,100
Chiquito	9,7772	15,4038	25,181,000
Animas	1,1808	5,7402	6,921,000

Tabla 4.14, Áreas por tipo de suelo para cada cuenca.

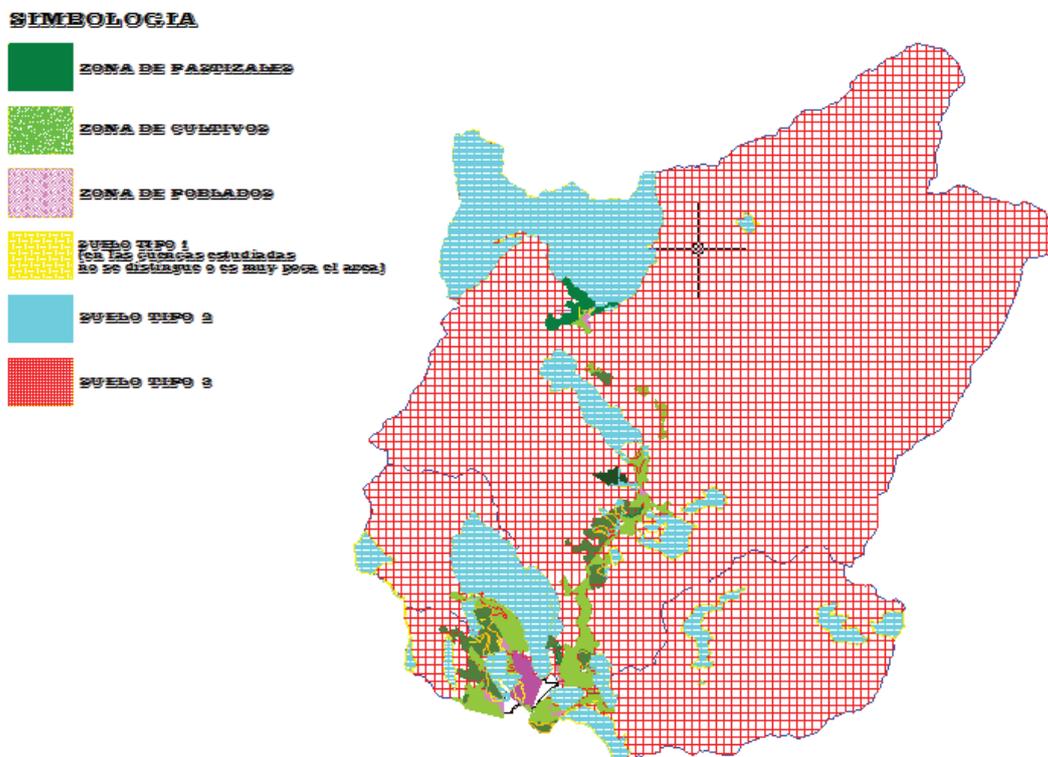


Figura 4.25, Cuantificación del Tipo de Suelo.

La determinación de las pendientes de las cuencas de forma zonificada por uso y tipo de suelo comunes, es información útil para la obtención del número de escurrimiento N. Estas pendientes se obtuvieron especialmente para usos de suelo con áreas cultivadas por riego y pastizales. Obteniéndose en los usos de suelo analizados pendientes menores al 1%.

IV.2.4.3 CUANTIFICACION DEL NUMERO DE ESCURRIMIENTO (N) Y PRECIPITACION INTERCEPTADA (P_o).

El valor del número N de escurrimiento, nos permitirá determinar la precipitación interceptada y se obtiene superponiendo el MAPA de uso de suelo, con el MAPA de tipo de suelo y con el MAPA de pendientes.

Se obtuvo un valor del numero N de escurrimiento para cada cuenca, en las Tablas 4.15, 4.16, 4.17 y 4.18 se presenta el procedimiento de cálculo ponderado. Con el valor N se determino la precipitación interceptada de acuerdo a la ecuación dada anteriormente, Tabla 4.19.

<i>USO DE SUELO</i>	<i>TIPO SUELO</i>	<i>AREAS (Km²)</i>	<i>% AREAS</i>	<i>N</i>	<i>N'</i>
CULTIVO	B	0.2946	0.1269	78	0.0990
	C	4.9502	2.1316	85	1.8119
PASTIZAL	B	0.9656	0.4158	61	0.2536
	C	1.6637	0.7164	74	0.5302
POBLADO	B	0.0176	0.0076	82	0.0062
	C	0.1081	0.0465	87	0.0405
BOSQUES	B	27.6689	11.9147	68	8.1020
	C	196.5556	84.6404	78	66.0195
	Área	232.2243		N	76.8629

Tabla 4.15, Determinación del valor del numero N de escurrimiento para el Rio Grande.

<i>USO DE SUELO</i>	<i>TIPO SUELO</i>	<i>AREAS (Km²)</i>	<i>% AREAS</i>	<i>N</i>	<i>N'</i>
CULTIVO	B	0.0306	0.0684	78	0.0533
	C	0.8605	1.9232	85	1.6347
PASTIZAL	B	0.1443	0.3225	61	0.1967
	C	0.0231	0.0516	74	0.0382
POBLADO	B	0.0078	0.0174	82	0.0143
	C	0.0473	0.1057	87	0.0920
BOSQUES	B	4.9945	11.1626	68	7.5906

C	38.6350	86.3485	78	67.3518
Área	44.7431		N	76.9717

Tabla 4.16, Determinación del valor del numero N de escurrimiento para el Rio Apamila.

USO DE SUELO	TIPO SUELO	AREAS (Km ²)	% AREAS	N	N'
CULTIVO	B	0.2727	1.0830	78	0.8447
	C	1.2561	4.9883	85	4.2400
PASTIZAL	B	0.6134	2.4360	61	1.4859
	C	0.1146	0.4551	74	0.3368
POBLADO	B	0.1748	0.6942	82	0.5692
	C	0.8797	3.4935	87	3.0394
BOSQUES	B	8.7163	34.6146	68	23.5379
	C	13.1534	52.2354	78	40.7436
	Área	25.181		N	74.7976

Tabla 4.17, Determinación del valor del numero N de escurrimiento para Chiquito.

USO DE SUELO	TIPO SUELO	AREAS (Km ²)	% AREAS	N	N'
CULTIVO	B	0.0035	0.0506	78	0.0394
	C	1.5476	22.3609	85	19.0068
PASTIZAL	B	0.3073	4.4401	61	2.7085
	C	0.9459	13.6671	74	10.1137
POBLADO	B	0.0312	0.4508	82	0.3697
	C	0.0962	1.3900	87	1.2093
BOSQUES	B	0.8388	12.1196	68	8.2414
	C	3.1505	45.5209	78	35.506
	Área	6.921		N	77.1949

Tabla 4.18, Determinación del valor del numero N de escurrimiento para Animas.

Cuenca	N	$P_0 = \frac{508}{N} - 5.08$ en mm
Grande	76.8629	70.769
Apamila	76.9717	70.662
Chiquito	74.796	72.865
Animas	77.1949	70.443

Tabla 4.19, Determinación de la precipitación interceptada, Po.

IV.3 DETERMINACION DE LA TORMENTA DE DISEÑO (paso 2)

La tormenta de diseño, como las avenidas máximas, tienen un carácter estocástico, por lo que normalmente se la 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 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. Sin embargo, la información registrada de las series de datos de precipitación es limitada, disponiéndose de datos históricos de pocos años (para el caso en estudio se dispone de 14 años para la estación base) en comparación a la de los periodos de retorno habituales para el diseño de obras (50, 100, 200, 500 años). Por otro lado estos datos se corresponden a la precipitación que ocurre en 24 horas en una gran mayoría de casos, y como es el caso del presente estudio. Es por esta razón, que habría que ser muy prudente en el tratamiento estadístico de los datos de precipitación, así como en la conversión al contexto regional de cada cuenca.

Hay diversas posibilidades para definir la tormenta de diseño, o hietograma de diseño de cada cuenca:

- Conocer el volumen total de precipitación (precipitación 24 horas o precipitación diaria: Pd, registro de estaciones con pluviómetro), y luego construir el hietograma o tormenta de diseño, haciendo uso de técnicas desarrolladas para esta finalidad. En el presente estudio nos encontramos en esta primera posibilidad.
- Conocer los registros reales de pluviografos.

IV.3.1 PRECIPITACION DIARIA (Pd), ASOCIADA A UN PERIODO DE RETORNO

En la determinación de la precipitación diaria, Pd, se corre el riesgo de cometer errores significativos, resultado del tratamiento estadístico de los registros históricos de las estaciones con pluviómetro, consideradas como estaciones base de las cuencas en estudio. Conscientes de este problema desde aquí se plantea la necesidad trabajar esta información y generar información más avanzada de isomáximas de precipitación correspondiente a diferentes periodos de retorno, Tr.

Para el caso de las cuencas en estudio, se ha determinado Precipitación Diaria, Pd, máxima o precipitación máxima 24 horas, histórica, para la estación base del presente estudio, estación el Guayabo. Esta precipitación diaria, que se presenta en la Tabla

4.20, tiene su origen en la precipitación 24 horas que se almacena en la Base de Datos CLICOM. El proceso de determinación, fue el siguiente: primero, se obtuvo el valor máximo de precipitación diaria para cada mes de cada año; segundo, se obtuvo la precipitación 24 horas anual, seleccionando la más alta precipitación de los meses del año.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1980	NO_D	NO_D	NO_D	NO_D	NO_D	8.4	27.1	54.5	63.9	22.2	0.0	0.0	63.9
1981	31.2	6.7	0.0	0.0	0.0	26.3	41.9	121.0	54.0	25.3	NO_D	0.0	121.0
1983	12.8	12.4	14.0	0.0	60.1	34.0	33.4	33.4	45.6	20.8	11.7	15.0	60.1
1984	39.8	0.0	0.0	0.0	51.0	40.0	41.2	56.5	33.2	9.2	1.5	14.3	56.5
1985	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	68.9	48.5	47.5	42.1	54.2	0.7	0.0	68.9
1986	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	46.0	45.9	22.5	52.7	50.0	6.2	4.1	52.7
1987	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.4	87.8	37.7	38.1	16.6	0.0	0.0	87.8
1988	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	50.1	71.3	23.1	57.3	0.0	0.0	0.0	71.3
1989	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0	36.8	49.1	51.1	24.9	1.3	32.4	51.1
1990	0.0	8.3	0.0	0.0	23.0	38.0	41.0	31.5	22.0	21.9	1.0	0.0	41.0
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.9	60.8	40.0	126.7	12.2	3.2	3.2	126.7
1992	85.5	9.6	0.0	0.0	0.0	20.4	27.3	62.0	55.8	63.6	2.1	19.0	85.5
1993	21.3	0.0	0.0	0.0	0.0	55.7	54.6	44.4	NO_D	32.0	4.5	0.0	55.7
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.5	33.6	77.5	69.6	48.7	18.6	0.0	77.5
1995	0.0	6.9	0.0	0.0	0.0	38.4	25.3	50.3	21.9	0.0	12.5	21.0	50.3
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.1	39.2	47.0	39.4	10.6	4.5	0.0	47.0
1997	4.9	0.0	3.0	0.0	20.7	69.5	46.0	40.3	59.1	40.3	46.5	1.5	69.5
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0	77.4	54.2	51.5	29.5	0.0	0.0	77.4
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.5	19.1	NO_D	NO_D	NO_D	NO_D	NO_D	42.5

Tabla 4.20, Precipitación máxima 24 horas, Pd, estación el Guayabo.

A la precipitación máxima 24 horas, correspondiente a cada año, se la asocio a un periodo de retorno, Tr. Es decir, a los datos históricos de la estación base, estación el GUAYABO, que se presenta en la Tabla 4.20, se llevo a cabo un análisis de frecuencias (utilizando varias distribuciones de probabilidad) para determinar la lluvia para diferentes periodos de retorno (2, 20, 50, 100, 200, 500, 1000). La Tabla 4.21, relaciona los datos históricos de precipitación medida en la estación el GUAYABO con periodos de retorno. La Tabla 4.22, presenta la precipitación máxima 24 horas, Pd, para diferentes periodos de retorno ($P_{d=24horas}^{Tr=2años}$, $P_{d=24horas}^{Tr=20años}$, $P_{d=24horas}^{Tr=50años}$, $P_{d=24horas}^{Tr=100años}$, $P_{d=24horas}^{Tr=200años}$, $P_{d=24horas}^{Tr=500años}$, $P_{d=24horas}^{Tr=1000años}$) y diferentes distribuciones de probabilidad. La Tabla 4.23, presenta los parámetros de las diferentes distribuciones de probabilidad que se ajustaron a los datos históricos.

Año	Precipitación máxima 24 horas		Tr
	Pd original	Pd ordenado	
1980	63.9	126.7	20.00
1981	121	121	10.00

1983	60.1	87.8	6.67
1984	56.5	85.5	5.00
1985	68.9	77.5	4.00
1986	52.7	77.4	3.33
1987	87.8	71.3	2.86
1988	71.3	69.5	2.50
1989	51.1	68.9	2.22
1990	41	63.9	2.00
1991	126.7	60.1	1.82
1992	85.5	56.5	1.67
1993	55.7	55.7	1.54
1994	77.5	52.7	1.43
1995	50.3	51.1	1.33
1996	47	50.3	1.25
1997	69.5	47	1.18
1998	77.4	42.5	1.11
1999	42.5	41	1.05
	1306.4		

Tabla 4.21, Precipitación máxima 24 horas, Pd, del GUAYABO asociada a periodos de retorno.

<i>Tr</i>		<i>Normal</i>	<i>Log Normal</i>	<i>Pearson III</i>	<i>Log Pearson III</i>	<i>Gumbel Simple</i>
2	$P_{d=24\text{horas}}^{Tr=2\text{años}}$	69.3532	65.9350	66.9272	64.1756	65.2633
20	$P_{d=24\text{horas}}^{Tr=20\text{años}}$	107.8218	108.4024	117.4650	114.8049	123.7811
50	$P_{d=24\text{horas}}^{Tr=50\text{años}}$	117.5344	122.9010	135.2891	137.5896	144.7220
100	$P_{d=24\text{horas}}^{Tr=100\text{años}}$	124.0094	133.6286	146.1574	152.8969	160.4143
200	$P_{d=24\text{horas}}^{Tr=200\text{años}}$	129.9066	144.2116	151.5916	171.6111	176.0493
500	$P_{d=24\text{horas}}^{Tr=500\text{años}}$	137.1495	158.3632	157.8952	183.9219	196.6767
1000	$P_{d=24\text{horas}}^{Tr=1000\text{años}}$	142.1364	168.9062	168.9810	188.2187	212.2665

Tabla 4.22, Precipitación 24 horas, Pd, del GUAYABO, para diferentes periodos de retorno, Tr, y diferentes distribuciones de probabilidad.

Ecuaciones**NORMAL****Función de densidad de probabilidad**

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Se resuelve:

Valores conocidos:**Parámetros, Variables****Parámetros**

$\mu = 68.7579 \text{ mm}$

$\sigma = 23.7471 \text{ mm}$

Variables conocidas

Tr = 20 años, z = 1.645

Tr = 50 años, z = 2.054

Tr = 100 años, z = 2.3267

Tr = 200 años, z = 2.575

Ecuaciones

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}, \quad F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{1}{2}z^2} dz$$

Donde F(z) es una función de distribución de probabilidad NORMAL

Parámetros:

$$\mu \square \bar{x}, \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \text{ Media muestral}$$

$$\sigma \square S, \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \text{ Desviación Estándar}$$

m.

Variable estandarizada conocida, z:

$$\text{Con } F(z) = F(x) = P(X \leq x) = \frac{Tr - 1}{Tr} \text{ se obtiene } z$$

de la Tabla A.1, del Libro de Aparicio, (tabla 4.24). Para un periodo de retorno, Tr, se obtiene el valor de la función de distribución de probabilidad, F(z), con el cual es posible determinar la variable estandarizada z

Variable por conocer, x ($P_{d=24horas}^{Tr}$):

$$x = z\sigma + \mu$$

Valor Esperado, Evento Extremo

LOG NORMAL**Función densidad de probabilidad**

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2}$$

Se resuelve:

$$z = \frac{\ln x - \alpha}{\beta}, \quad F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{1}{2}z^2} dz$$

Donde F(z) es una función de distribución de probabilidad LOG NORMAL

Parámetros:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x_i}{n}$$

Valores conocidos:**Parámetros, Variables**

Tr = 500 años, z = 2.88

Tr = 1000 años, z = 3.09

Parámetros

$\alpha = 4.1810$

$\beta = 0.3069$

Variables conocidas

Tr = 20 años, z = 1.645

Tr = 50 años, z = 2.054

Tr = 100 años, z = 2.3267

Tr = 200 años, z = 2.575

Tr = 500 años, z = 2.88

Tr = 1000 años, z = 3.09

Ecuaciones

$$\beta = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Variable estandarizada conocida z:

Se obtiene de igual forma que la probabilidad anterior

Variable por conocer, x ($P_{d=24horas}^{Tr}$):

$$\ln x = z\beta + \alpha$$

$$x = e^{z\beta + \alpha}$$

Valor Esperado, Evento Extremo

Valores conocidos:

Parámetros, Variables

LOG PEARSON III

Función de densidad de probabilidad

$$f(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \left\{ \frac{x - \delta_1}{\alpha_1} \right\}^{\beta_1 - 1} e^{-\frac{x - \delta_1}{\alpha_1}}$$

Se resuelve:

$$y = \frac{\ln x - \delta_1}{\alpha_1}, F(y) = \frac{1}{\Gamma(\beta_1)} \int_0^y y^{\beta_1 - 1} e^{-y} dy$$

Donde F(y) es una función de distribución de probabilidad JI-CUADRADO con grados de libertad $v=2\beta_1$ y la función JI-CUADRADO $X_{p^2} = 2y$

Parámetros base:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x_i}{n}, \text{ Media muestral}$$

$$\beta = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}}, \text{ Desviación estandar}$$

muestral

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \frac{\ln x_i - \alpha^3 / n}{\beta^3}, \text{ Sesgo muestral}$$

Parámetros de la función:

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta_1}} \rightarrow \beta_1 = \left(\frac{2}{\gamma} \right)^2$$

$$\beta^2 = \alpha_1^2 \beta_1 \rightarrow \alpha_1 = \frac{\beta}{\sqrt{\beta_1}}$$

Parámetros base

$$\alpha = 4.1810$$

$$\beta = 0.3069$$

$$\gamma = 0.5574$$

Parámetros de la función

$$\beta_1 = 12.8763$$

$$\alpha_1 = 0.0855$$

$$\delta_1 = 3.0797$$

Variables conocidas

Grados de libertad de la función X_{p^2} , v

$$v = 25.75250053 = 26$$

Probabilidad de la función X_{p^2} , p

$$\text{Tr} = 20 \text{ años}, p = 0.95$$

$$\text{Tr} = 50 \text{ años}, p = 0.98$$

$$\text{Tr} = 100 \text{ años}, p = 0.99$$

$$\text{Tr} = 200 \text{ años}, p = 0.995$$

$$\text{Tr} = 500 \text{ años}, p = 0.998$$

$$\text{Tr} = 1000 \text{ años}, p = 0.999$$

Función X_{p^2} para $v=26$ grados de libertad

$$X^2_{0.95} = 38.9$$

$$X^2_{0.98} = 43.13$$

$$X^2_{0.99} = 45.6$$

Log Pearson III

Ecuaciones

$$\alpha = \alpha_1 \beta_1 + \delta_1 \rightarrow \delta_1 = \alpha - \alpha_1 \beta_1$$

Variable estandarizada conocida, y:

Con $\nu = 2\beta_1$ se obtiene el grado de libertad de la distribución χ_p^2 y con un periodo de retorno, Tr, se obtiene el valor de la probabilidad **p** de la función de distribución χ_p^2 . Con ambos valores se entra a la Tabla A.4, del Libro de Aparicio, (tabla 4.25). Y se obtiene el valor de la distribución χ_p^2 . Luego con este valor se obtiene la variable y, de la siguiente relación:

$$\chi_p^2 = 2y \rightarrow y = \frac{\chi_p^2}{2}$$

Variable por conocer, x ($P_{d=24horas}^{Tr}$):

ln $x = y(\alpha_1) + \delta_1 \rightarrow x = e^{y(\alpha_1) + \delta_1}$, valor esperado

$$F(y) = F(x^2 | \nu) = F_{\chi^2}(2y | 2\beta_1)$$

$$x = y(\alpha_1) + \delta_1$$

PEARSON III**Función de distribución de probabilidad**

$$y = \frac{x - \delta_1}{\alpha_1}, F(y) = \frac{1}{\Gamma(\beta_1)} \int_0^y y^{\beta_1 - 1} e^{-y} dy$$

Donde F(y) es una función de distribución de probabilidad JI-CUADRADO con grados de libertad $\nu = 2\beta_1$ y la función JI-CUADRADO $X_p^2 = 2y$

Parámetros base:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \text{ Media muestral}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \text{ Desviación estándar muestral}$$

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \frac{x_i - \bar{x}}{S^3} / n, \text{ Sesgo muestral}$$

Parámetros de la función:

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta_1}} \rightarrow \beta_1 = \left(\frac{2}{\gamma}\right)^2$$

Valores conocidos:

Parámetros, Variables

$$X_{0.995}^2 = 48.3$$

$$X_{0.998}^2 = 49.92$$

$$X_{0.999}^2 = 50.46$$

Variable y

$$y = 19.45, \text{ Tr}=20 \text{ años}$$

$$y = 21.57, \text{ Tr}=50 \text{ años}$$

$$y = 45.6, \text{ Tr}=100 \text{ años}$$

$$y = 24.15, \text{ Tr}=200 \text{ años}$$

$$y = 24.96, \text{ Tr}=500 \text{ años}$$

$$y = 25.23, \text{ Tr}=1000 \text{ años}$$

Parámetros base

$$\bar{x} = 68.7579 \text{ mm}$$

$$S = 23.7471 \text{ mm}$$

$$\gamma = 1.0984$$

Parámetros de la función

$$\beta_1 = 3.3154$$

$$\alpha_1 = 13.0420$$

$$\delta_1 = 25.5189$$

Variables conocidas

Grados de libertad de la función X_p^2 , ν

$$\nu = 6.630731413 = 7$$

Probabilidad de la función X_p^2 , p

$$\text{Tr} = 20 \text{ años}, p = 0.95$$

$$\text{Tr} = 50 \text{ años}, p = 0.98$$

$$\text{Tr} = 100 \text{ años}, p = 0.99$$

$$\text{Tr} = 200 \text{ años}, p = 0.995$$

$$\text{Tr} = 500 \text{ años}, p = 0.998$$

$$\text{Tr} = 1000 \text{ años}, p = 0.999$$

Función X_p^2 para $\nu=7$

Información y proceso a seguir para el desarrollo de un Estudio Hidrológico

Ecuaciones

$$S^2 = \alpha_1^2 \beta_1 \rightarrow \alpha_1 = \frac{S}{\sqrt{\beta_1}}$$

$$\bar{x} = \alpha_1 \beta_1 + \delta_1 \rightarrow \delta_1 = \bar{x} - \alpha_1 \beta_1$$

Variable estandarizada conocida, y:

Con $\nu = 2\beta_1$ se obtiene el grado de libertad de la distribución χ_p^2 y con un periodo de retorno, Tr, se obtiene el valor de la probabilidad p de la función de distribución χ_p^2 . Con ambos valores se entra a la Tabla A.4, del Libro de Aparicio (tabla 4.25). Y se obtiene el valor de la distribución χ_p^2 . Luego con este valor se obtiene la variable y , de la siguiente relación:

$$\chi_p^2 = 2y \rightarrow y = \frac{\chi_p^2}{2}$$

Variable por conocer, x ($P_{d=24horas}^{Tr}$):

$$x = y(\alpha_1) + \delta_1$$

Valor Esperado, Evento Extremo

GUMBEL SIMPLE**Función densidad de probabilidad**

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Se resuelve:

$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$, función de distribución de probabilidad Gumbel Simple

Parámetros base:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \text{ Media muestral}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \text{ Desviación estándar muestral}$$

Parámetros de la función:

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S}$$

Valores conocidos:**Parámetros, Variables**

grados de libertad

$$X_{0.95}^2 = 14.1$$

$$X_{0.98}^2 = 16.83$$

$$X_{0.99}^2 = 18.5$$

$$X_{0.995}^2 = 19.33$$

$$X_{0.998}^2 = 20.3$$

$$X_{0.999}^2 = 20.3$$

Variable y

$$y = 7.05, \text{ Tr} = 20 \text{ años}$$

$$y = 8.42, \text{ Tr} = 50 \text{ años}$$

$$y = 9.25, \text{ Tr} = 100 \text{ años}$$

$$y = 9.67, \text{ Tr} = 200 \text{ años}$$

$$y = 10.15, \text{ Tr} = 500 \text{ años}$$

$$y = 10.15, \text{ Tr} = 1000 \text{ años}$$

Parámetros base

$$\bar{x} = 68.7579 \text{ mm}$$

$$S = 23.7471 \text{ mm}$$

Parámetros de la función

$$\sigma_y = 1.0566$$

$$\mu_y = 0.5220$$

$$\alpha = 0.044493896$$

$$\beta = 57.0259485$$

Variables conocidas

$$\text{Tr} = 20 \text{ años}, F(x) = 0.95$$

$$\text{Tr} = 50 \text{ años}, F(x) = 0.98$$

$$\text{Tr} = 100 \text{ años}, F(x) = 0.99$$

$$\text{Tr} = 200 \text{ años}, F(x) = 0.995$$

$$\text{Tr} = 500 \text{ años}, F(x) = 0.998$$

$$\text{Tr} = 1000 \text{ años},$$

$$F(x) = 0.999$$

Información y proceso a seguir para el desarrollo de un Estudio Hidrológico

Ecuaciones

$$\beta = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\alpha}$$

Donde μ_y y σ_y están en función de n (numero de datos) y se muestran en la Tabla 9.6 de Aparicio. Figura 4.26.

Valores conocidos:
Parámetros, Variables

Variable estandarizada conocida, F(x):

Con $F(x) = P(X \leq x) = \frac{Tr - 1}{Tr}$ se obtiene el valor de la función de distribución GUMBEL SIMPLE

Variable por conocer, x ($P_{d=24horas}^{Tr}$):

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

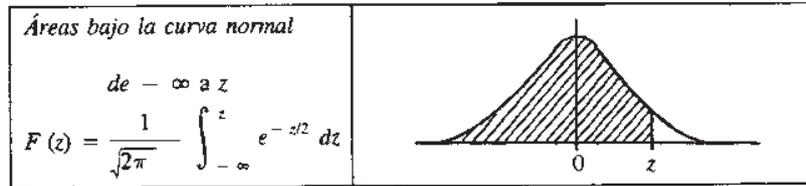
$$\ln(\ln(F(x))) = -\alpha x - \beta$$

$$\beta - \frac{1}{\alpha} \ln(\ln(F(x))) = x$$

Valor Esperado, Evento Extremo

Tabla 4.23. Parámetros de las diferentes distribuciones de probabilidad.

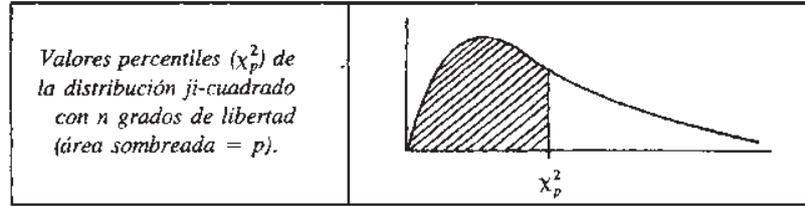
Tabla A.1



z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5754
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7258	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7518	0.7549
0.7	0.7580	0.7612	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7996	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830*	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Tabla 4.24, Tabla A1 del libro de Aparicio.

Tabla A.4



n	$\chi_{0.995}^2$	$\chi_{0.99}^2$	$\chi_{0.975}^2$	$\chi_{0.95}^2$	$\chi_{0.90}^2$	$\chi_{0.75}^2$	$\chi_{0.50}^2$	$\chi_{0.25}^2$	$\chi_{0.10}^2$	$\chi_{0.05}^2$	$\chi_{0.025}^2$	$\chi_{0.01}^2$	$\chi_{0.005}^2$
1	7.88	6.63	5.02	3.84	2.71	1.32	0.455	0.102	0.0158	0.0039	0.0010	0.0002	0.0000
2	10.6	9.21	7.38	5.99	4.61	2.77	1.39	0.575	0.211	0.103	0.0506	0.0201	0.0100
3	12.8	11.3	9.35	7.81	6.25	4.11	2.37	1.21	0.584	0.352	0.216	0.115	0.072
4	14.9	13.3	11.1	9.49	7.78	5.39	3.36	1.92	1.06	0.711	0.484	0.297	0.207
5	16.7	15.1	12.8	11.1	9.24	6.63	4.35	2.67	1.61	1.15	0.831	0.554	0.412
6	18.5	16.8	14.4	12.6	10.6	7.84	5.35	3.45	2.20	1.64	1.24	0.872	0.676
7	20.3	18.5	16.0	14.1	12.0	9.04	6.35	4.25	2.83	2.17	1.69	1.24	0.989
8	22.0	20.1	17.5	15.5	13.4	10.2	7.34	5.07	3.49	2.73	2.18	1.65	1.34
9	23.6	21.7	19.0	16.9	14.7	11.4	8.34	5.90	4.17	3.33	2.70	2.09	1.73
10	25.2	23.2	20.5	18.3	16.0	12.5	9.34	6.74	4.87	3.94	3.25	2.56	2.16
11	26.8	24.7	21.9	19.7	17.3	13.7	10.3	7.58	5.58	4.57	3.82	3.05	2.60
12	28.3	26.2	23.3	21.0	18.5	14.8	11.3	8.44	6.30	5.23	4.40	3.57	3.07
13	29.8	27.7	24.7	22.4	19.8	16.0	12.3	9.30	7.04	5.89	5.01	4.11	3.57
14	31.3	29.1	26.1	23.7	21.1	17.1	13.3	10.2	7.79	6.57	5.63	4.66	4.07
15	32.8	30.6	27.5	25.0	22.3	18.2	14.3	11.0	8.55	7.26	6.26	5.23	4.60
16	34.3	32.0	28.8	26.3	23.5	19.4	15.3	11.9	9.31	7.96	6.91	5.81	5.14
17	35.7	33.4	30.2	27.6	24.8	20.5	16.3	12.8	10.1	8.67	7.56	6.41	5.70
18	37.2	34.8	31.5	28.9	26.0	21.6	17.3	13.7	10.9	9.39	8.23	7.01	6.26
19	38.6	36.2	32.9	30.1	27.2	22.7	18.3	14.6	11.7	10.1	8.91	7.63	6.84
20	40.0	37.6	34.2	31.4	28.4	23.8	19.3	15.5	12.4	10.9	9.59	8.26	7.43
21	41.4	38.9	35.5	32.7	29.6	24.9	20.3	16.3	13.2	11.6	10.3	8.90	8.03
22	42.8	40.3	36.8	33.9	30.8	26.0	21.3	17.2	14.0	12.3	11.0	9.54	8.64
23	44.2	41.6	38.1	35.2	32.0	27.1	22.3	18.1	14.8	13.1	11.7	10.2	9.26
24	45.6	43.0	39.4	36.4	33.2	28.2	23.3	19.0	15.7	13.8	12.4	10.9	9.89
25	46.9	44.3	40.6	37.7	34.4	29.3	24.3	19.9	16.5	14.6	13.1	11.5	10.5
26	48.3	45.6	41.9	38.9	35.6	30.4	25.3	20.8	17.3	15.4	13.8	12.2	11.2
27	49.6	47.0	43.2	40.1	36.7	31.5	26.3	21.7	18.1	16.2	14.6	12.9	11.8
28	51.0	48.3	44.5	41.3	37.9	32.6	27.3	22.7	18.9	16.9	15.3	13.6	12.5
29	52.3	49.6	45.7	42.6	39.1	33.7	28.3	23.6	19.8	17.7	16.0	14.3	13.1
30	53.7	50.9	47.0	43.8	40.3	34.8	29.3	24.5	20.6	18.5	16.8	15.0	13.8
40	66.8	61.7	59.3	55.8	51.8	45.6	39.3	33.7	29.1	26.5	24.4	22.2	20.7
50	79.5	76.2	71.4	67.5	63.2	56.3	49.3	42.9	37.7	34.8	32.4	29.7	28.0
60	92.0	88.4	83.3	79.1	74.4	67.0	59.3	52.3	46.5	43.2	40.5	37.5	35.5
70	104.2	100.4	95.0	90.5	85.5	77.6	69.3	61.7	55.3	51.7	48.8	45.4	43.3
80	116.3	112.3	106.6	101.9	96.6	88.1	79.3	71.1	64.3	60.4	57.2	53.5	51.2
90	128.3	124.1	118.1	113.1	107.6	98.6	89.3	80.6	73.3	69.1	65.6	61.8	59.2
100	140.2	135.8	129.6	124.3	118.5	109.1	99.3	90.1	82.4	77.9	74.2	70.1	67.3

Tabla 4.25, Tabla A4 del Libro de Aparicio.

Tabla 9.6

n	μ_y	σ_y
10	0.4952	0.9496
15	0.5128	1.0206
20	0.5236	1.0628
25	0.5309	1.0914
30	0.5362	1.1124
35	0.5403	1.1285
40	0.5436	1.1413
45	0.5463	1.1518
50	0.5485	1.1607
55	0.5504	1.1682
60	0.5521	1.1747
65	0.5535	1.1803
70	0.5548	1.1854
75	0.5559	1.1898
80	0.5569	1.1938
85	0.5578	1.1974
90	0.5586	1.2007
95	0.5593	1.2037
100	0.5600	1.2065

Figura 4.26. Tabla 9.6 del Libro de Aparicio.

IV.3.2 DETERMINACION DEL HIETOGRAMA DE DISEÑO

Una vez conocida la precipitación diaria, el método más utilizado para la construcción del hietograma de precipitación, es el que se basa en las curvas Intensidad – Duración – Periodo de Retorno.

Se denomina curvas intensidad – duración – periodo de retorno (I_dTr), las que resultan de unir los puntos representados por la intensidad media, I ; frente a intervalos de duración, d ; correspondiendo cada curva a un periodo de retorno, Tr .

Los pasos seguidos para la construcción de las curvas I_dTr para cada cuenca, han sido los siguientes:

A. Transferencia de la información hidrológica de la estación base el GUAYABO a cada una de las cuencas. Se aplica tres diferentes coeficientes de transferencia a la precipitación diaria, P_d , que mejor ajusto, es decir a los valores de precipitación obtenidos con la distribución GUMBEL SIMPLE, para la estación el GUAYABO, $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=2\text{años}}$, $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=20\text{años}}$, $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=50\text{años}}$, $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=100\text{años}}$, $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=200\text{años}}$, $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=500\text{años}}$, $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=1000\text{años}}$

(1) Coeficiente de Transferencia por Posición, $R1$ o $R2$.

$$R1 = \frac{P_{\text{cuenca}_{CG}}}{P_{\text{estacion base}}}$$

$$R2 = \frac{P_{cuenca}_{Isoyetas}}{P_{estacion\ base}}$$

(2) Coeficiente de Transferencia por Área, R3

$$R3 = 1 - \frac{\text{Log } A}{15}$$

(3) Coeficiente de Transferencia por Observación, R4.

$$R4 = 1.3$$

Resultando la precipitación diaria, Pd, para diferentes periodos de retorno, para cada cuenca. Es decir con este procedimiento, se obtiene para cada cuenca $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=2\text{años}}$, $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=20\text{años}}$, $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=50\text{años}}$, $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=100\text{años}}$, $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=200\text{años}}$, $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=500\text{años}}$, $P_{d=24\text{horas}}^{Tr=1000\text{años}}$. En la Tabla 4.27, se presenta el cálculo de los factores de corrección, y en la Tabla 4.28, se presenta el cálculo de la precipitación máxima 24 horas para cada cuenca.

	<i>Grande</i>		<i>Chiquito</i>		<i>Apamila</i>		<i>Animas</i>	
Corrección Posición	P _G =	833	P _G =	833	P _G =	833	P _G =	833
	P _{cuenca(CG)}	919.445	P _{cuenca(C)}	938.97	P _{cuenca(C)}	957.751	P _{cuenca(CG)}	952.467
	=		=		=		=	
	P _{cuenca(0)}	918.352	P _{cuenca(0)}	938.265	P _{cuenca(0)}	958.371	P _{cuenca(0)}	950.676
	R1 =	1.10377551	R1 =	1.127214886	R1 =	1.149761104	R1 =	1.14341777
R2 =	1.102463385	R2 =	1.126368547	R2 =	1.150505402	R2 =	1.14126771	
Corrección por Área	A=	232.2243	A=	25.181	A=	44.7431	A=	6.921
	R3 =	0.842272823	R3 =	0.906595135	R3 =	0.889951595	R3 =	0.94398874
	R4 =	1.13	R4 =	1.13	R4 =	1.13	R4 =	1.13

Tabla 4.27, Coeficientes de corrección para cada cuenca.

Pd	Guayabo	Grande	Chiquito	Apamila	Animas
$P_{d=24\text{horas}}^{Tr=2\text{años}}$	65.2633	68.5616	75.3647	75.4608	79.6012
$P_{d=24\text{horas}}^{Tr=20\text{años}}$	123.7811	130.0368	142.9397	143.1221	150.9748
$P_{d=24\text{horas}}^{Tr=50\text{años}}$	144.7220	152.0360	167.1218	167.3351	176.5163
$P_{d=24\text{horas}}^{Tr=100\text{años}}$	160.4143	168.5214	185.2429	185.4793	195.6560
$P_{d=24\text{horas}}^{Tr=200\text{años}}$	176.0493	184.9466	203.2979	203.5573	214.7259

$P_{d=24horas}^{Tr=500años}$	196.6767	206.6165	227.1180	227.4078	239.8850
$P_{d=24horas}^{Tr=1000años}$	212.2665	222.9941	245.1207	245.4335	258.8997

Tabla 4.28, Precipitación máxima 24 horas para cada cuenca.

B. Transformación de la precipitación máxima 24 horas, a precipitación horaria

Debido a que para estimar los escurrimientos se requiere conocer la intensidad de la precipitación asociada a una duración de tormenta, se procedió a transformar la precipitación máxima 24 horas, en registros de corta duración. Para ello es necesario definir un Cociente R para cada cuenca, cociente que se define como la relación entre la precipitación de 1 hora y la precipitación 24 horas ambas para el mismo periodo de retorno. Se desarrolla a continuación el procedimiento de determinación del cociente R, así como su uso para la determinación de la precipitación horaria.

- Se determina para la estación base GUAYABO, la precipitación para una duración de 1 hora, para un periodo de retorno de 2 años, $P_{d=1hora}^{Tr=2años}$. Este valor es posible obtenerlo de la gráfica que se presenta en la Figura 4.26, en donde se ingresa con la lluvia media máxima anual de la estación el GUAYABO y el máximo número de días con lluvias mayores de 1mm de la estación el GUAYABO.

El número de días con precipitación mayor a 1 mm, para la estación el GUAYABO, es **80**, valor que se observa en la Tabla 4.29. Y la precipitación media diaria para la estación el GUAYABO, es de **68.82 mm.**, valor que se puede obtener en la Tabla 4.9. Con ambos valores se ingresa a la gráfica de la Figura 4.26 y se obtiene la precipitación máxima para una duración de 1 hora y un periodo de retorno de dos años, igual a 42 mm., es decir: $P_{d=1hora}^{Tr=2años} = 42mm$.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1980	NO_D	NO_D	NO_D	NO_D	NO_D	1	15	20	12	6	0	0	0
1981	3	1	0	0	0	11	15	17	15	15	NO_D	0	0
1983	3	1	1	0	3	6	19	16	18	8	4	1	80
1984	4	0	0	0	2	17	19	15	16	2	1	3	79
1985	1	0	0	0	0	17	14	15	13	5	3	0	68
1986	0	1	0	0	0	11	18	11	12	10	3	1	67
1987	0	0	0	0	0	7	12	14	9	3	0	0	45
1988	0	0	3	0	0	11	12	23	7	0	0	0	56
1989	0	0	0	0	0	10	11	16	15	3	1	5	61
1990	0	2	0	0	5	16	20	11	12	12	0	0	78
1991	0	0	0	0	0	10	13	7	16	4	2	1	53
1992	11	1	0	0	0	6	15	12	10	7	3	2	67
1993	2	0	0	0	0	12	15	3	NO_D	3	1	0	0
1994	0	0	0	0	0	6	5	14	12	7	4	0	48
1995	0	1	0	0	0	14	15	19	13	0	2	3	67
1996	0	0	0	0	1	17	10	17	11	2	1	0	59

1997	1	0	0	0	1	6	12	15	11	7	5	2	60
1998	0	0	0	0	0	9	18	9	18	13	0	0	67
1999	0	0	0	0	0	11	9	NO_D	NO_D	NO_D	NO_D	NO_D	0

Tabla 4.29, Numero de días en el año con precipitación mayor a 1 mm., estación el GUAYABO.

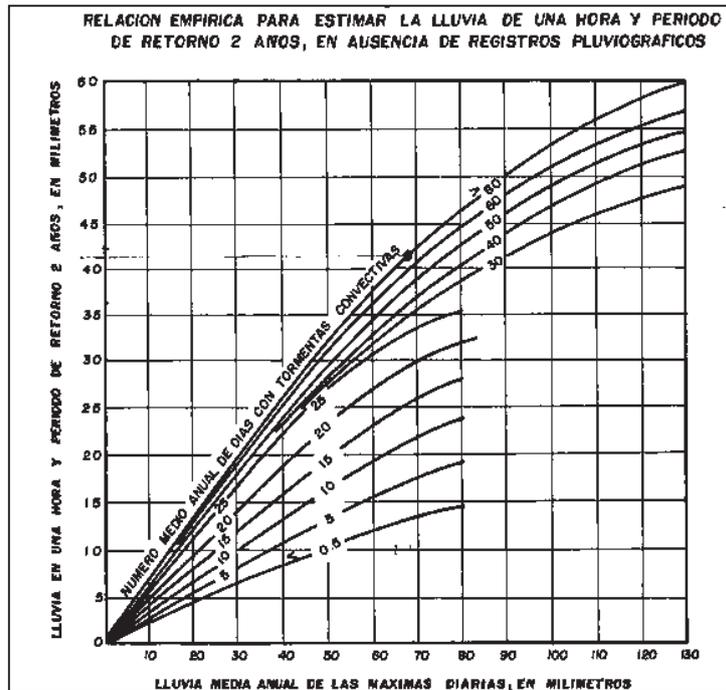


Figura 4.26, Precipitación máxima de duración 1 hora y periodo de retorno 2 años.

- Se determina el cociente R para cada cuenca, $R = \frac{P_{d=1hora}^{Tr=2años}}{P_{d=24horas}^{Tr=2años}}$, donde $P_{d=24horas}^{Tr=2años}$, es la precipitación 24 horas para un periodo de retorno de dos años, determinado para cada cuenca, que se presentan en la Tabla 4.30; la $P_{d=1hora}^{Tr=2años}$, es la precipitación 1 hora para un periodo de retorno de dos años, determinado para la estación GUAYABO.

Grande	Chiquito	Apamila	Animas
R= 0.605294773	R= 0.550655987	R= 0.549954129	R= 0.5213492

Tabla 4.30, Cociente R, para cada cuenca.

De acuerdo a los estudios realizados por Campos (1999), para México encontró un valor promedio para el cociente R de 0.48, con valores extremos de 0.7 y 0.2. Siendo luego los valores del Cociente R, adoptados para las cuencas en estudio aceptables.

- Se determina la precipitación para una duración $d=1$ hora, para los diferentes periodos de retorno propuestos y para las diferentes cuencas, como sigue:

Cuenca río Grande $P_{d=1h}^{Tr} = 0.61 P_{d=24h}^{Tr}$

Cuenca río Chiquito $P_{d=1h}^{Tr} = 0.55 P_{d=24h}^{Tr}$

Cuenca río Apamila $P_{d=1h}^{Tr} = 0.55 P_{d=24h}^{Tr}$

Cuenca río Ánimas $P_{d=1h}^{Tr} = 0.52 P_{d=24h}^{Tr}$

Finalmente se interpolan los valores entre la precipitación de 1 hora y la precipitación de 24 horas para el mismo periodo de retorno y los resultados de la interpolación para el mismo periodo de retorno permiten formar las curvas IdTr para cada cuenca, curvas que se presentan en las Figuras 4.27, 4.28, 4.29 y 4.30.

Aquí solo queda recordar que la duración de una tormenta de diseño, se debe seleccionar de acuerdo al tiempo de concentración de la cuenca, esto es la duración de la precipitación máxima se hace generalmente igual al tiempo de concentración, ya que cuando la precipitación alcanza esta duración, toda el área de la cuenca está aportando al proceso de escurrimiento.

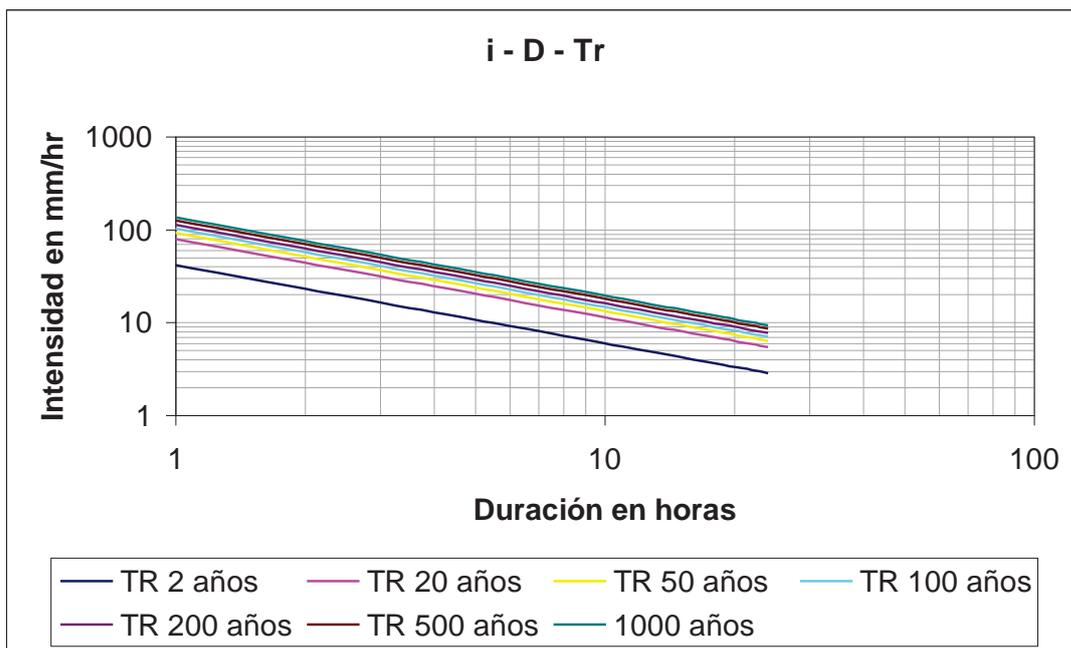


Figura 4.27, Curvas IdTr para la cuenca del río Grande.

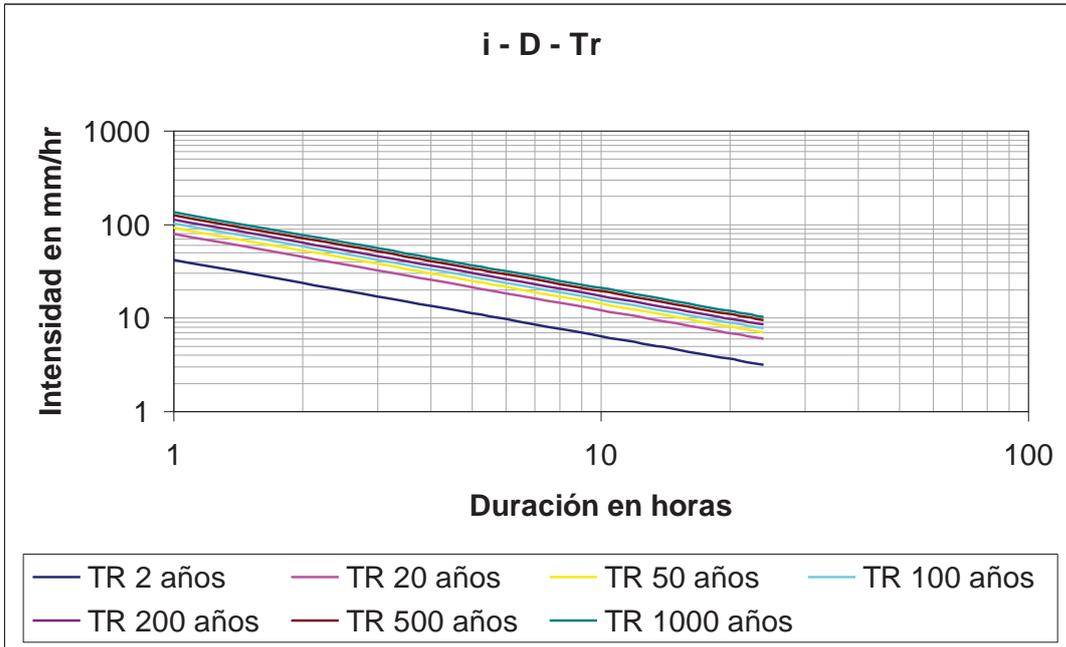


Figura 4.28, Curvas IdTr para la cuenca del río Chiquito.

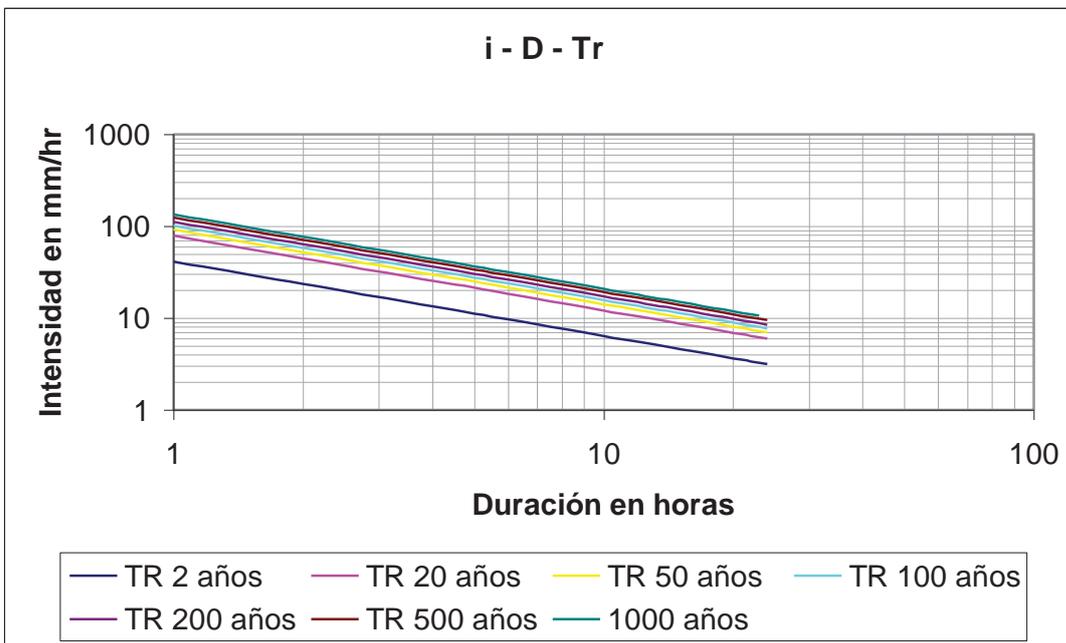


Figura 4.29, Curvas IdTr para la cuenca del río Apamila.

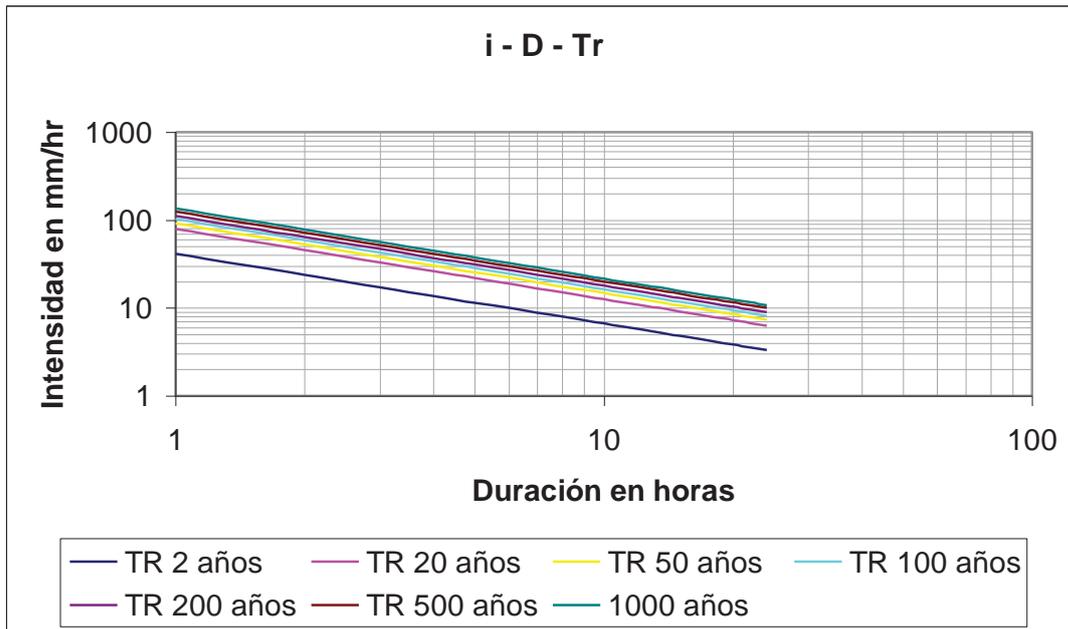


Figura 4.30, Curvas IdTr para la cuenca del río Ánimas.

IV.4 DETERMINACIÓN DEL GASTO DE DISEÑO PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO (PROCESO LLUVIA - ESCURRIMIENTO) (paso 3)

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 (área de la cuenca "A", longitud del cauce principal "L", y pendiente media del cauce principal "S"), del tiempo de concentración " t_c ", precipitación interceptada "Po".

En apartados anteriores se han determinado los parámetros geomorfológicos y la precipitación interceptada, en este apartado se determinara el tiempo de concentración, así como el escurrimiento que se produce en la cuenca haciendo uso de diversos métodos.

IV 4.1 TIEMPO DE CONCENTRACION (T_c)

Se han propuesto diversas fórmulas para el cálculo del t_c . 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 y Rowe. Por otro lado se observa la necesidad de evaluar

formulaciones que distinguen cuencas urbanas de las no urbanas, entre ellas se tiene la de J.R. Temez.

Método de Kirpich: $t_c = 0.0003245 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$

Donde:

- L longitud del cauce principal, en m
- S pendiente del cauce principal, en m/m
- t_c tiempo de concentración, en horas

Método de Rowe: $t_c = \left(\frac{0.87L^3}{H} \right)^{0.385}$ (aplicable a cuencas grandes)

Donde:

- L longitud del cauce principal, en Km
- H desnivel del cauce principal, en m/m
- t_c tiempo de concentración, en horas

DATOS	<i>U</i>	<i>Grande</i>	<i>Chiquito</i>	<i>Apamila</i>	<i>Las Ánimas</i>
Longitud Cauce Principal (L)	M	36,318.1144	10,692.5433	16,525.0944	5,807.5923
Pendiente, Taylor (S)	m/m	0.011188112	0.018176739	0.019633806	0.040303979
Desnivel (H)	M	1,040	989.18	1,388	660
METODOS					
tc Kirpich	horas	5.948492619	1.924695803	2.612446917	0.885322342
tc Rowe	horas	4.140945162	1.028306277	1.492283129	0.593753273

Tabla 4.31, Tiempos de concentración para las cuatro cuencas

IV.4.2 DETERMINACION DE LOS DIFERENTES METODOS LLUVIA-ESCURRIMIENTO

En este estudio se evaluaron varios métodos cuya definición se desarrolla en este apartado y en el siguiente apartado se aplican estos métodos a las cuencas en estudio.

Dentro del grupo de métodos empíricos que se aplicaron a las cuencas, se tiene el Método Racional y dentro del grupo de métodos hidrológicos que se aplicaron a las cuencas se tienen, el método del “Hidrograma Unitario Triangular”, el método de “I Pai Wu” y el método de “Chow”; todos los métodos hidrológicos utilizados se les identifica como métodos de “Hidrograma Unitario Sintético”.

Se utilizan Hidrogramas Unitarios Sintéticos (HUS) por no contar con un Hidrograma medido a la salida de la cuenca, es decir por no contar con información de una estación hidrométrica. Estos HUS usan datos característicos de la cuenca.

a) Método Racional

Es el método de más uso, por su facilidad de uso y los buenos resultados que proporciona, si se verifican las hipótesis en que se basa la formulación.

Este método calcula el gasto máximo de la escorrentía de una precipitación en exceso de intensidad *i* y que cae sobre una cuenca con una superficie *Ac*, que ocurre de manera instantánea y es constante durante un tiempo mínimo, igual 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 precipitación interceptada *P_o=0*), el gasto máximo sería *Q_p=iAc*. Pero la existencia de detracción de agua o precipitación interceptada, es necesario considerarlo, aplicando un coeficiente de escorrentía denominado *C*. Este coeficiente toma valores de 0 a 1, y los valores adoptados para cada cuenca se calcularon de forma ponderada de acuerdo al tipo de Área y se visualiza en la Tabla.4.32. Se hizo uso de la Tabla 8.3 de Aparicio, tabla 4.33.

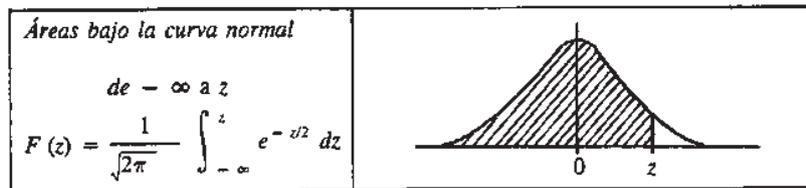
$$Q_p = 0.278 CiA$$

Donde:

- Q_p* Gasto punta, en m³/s
- C* Coeficiente de escorrentía, adimensional
- i* intensidad de la precipitación, mm/h (se obtiene de Curva *I_dTr*, para *d=t_c* y diferentes *Tr*)
- A* superficie de la cuenca, en Km² (se obtiene del estudio geomorfológico)

	<i>Grande</i>	<i>Apamila</i>	<i>Chiquito</i>	<i>Animas</i>
Area	232	45	25	7
Coeficiente	0.35014	0.35031	0.36047	0.35460

Tabla 4.32, Determinación del coeficiente *C*, para el río Grande



z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5754
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7258	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7518	0.7549
0.7	0.7580	0.7612	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7996	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Tabla 4.33, Tabla 8.3 del libro de Aparicio.

b) Método Hidrograma Unitario Triangular

Es el "Hidrograma" de escorrentía directa en el punto de salida de la cuenca, generada por una precipitación en exceso de 1 cm., uniforme en toda la cuenca, durante un tiempo D de duración efectiva o en exceso.

$$Q_l = q_p P_e$$

Donde:

Q_I Gasto de diseño, en m^3/seg

q_p Gasto unitario pico, en $m^3/seg/mm$

$$q_p = \frac{0.208A}{t_p}$$

A superficie de la cuenca, en Km^2 (se obtiene del estudio geomorfológico)

t_p tiempo pico, en horas

$$t_p = \frac{D}{2} + 0.6t_c$$

t_c tiempo de concentración, en horas (se obtiene al inicio de este apartado)

D Duración en exceso o efectiva de la tormenta, en horas

P_e Precipitación en exceso, en cm

$$\sum P_e = 0 \quad \text{si} \quad \sum P \leq P_o$$

$$\sum P_e = \frac{(\sum P - P_o)^2}{\sum P + 4P_o} \quad \text{si} \quad \sum P > P_o$$

ΣP Precipitación acumulada para el instante considerado, en cm.

ΣP_e Precipitación acumulada en exceso, en cm.

P_o Precipitación interceptada, en cm.

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

N Numero N de escurrimiento

c) Método de Chow

$$Q_p = q_p P_e$$

Donde:

Q_p Gasto Pico, en m^3/seg .

q_p Gasto unitario pico, en $m^3/seg/mm$.

$$q_p = \frac{0.278A}{D} Z$$

A Superficie de la cuenca, en Km^2 (se obtiene del estudio geomorfológico)

D Duración en exceso o efectiva de la tormenta, en horas

Z Factor de reducción del pico, adimensional. Se obtiene de la Figura 8.20 de Aparicio, Figura 4.31.

$$Z = f(D, t_r)$$

t_r Tiempo de retraso, en horas

$$t_r = 0.005 \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64}$$

L Longitud del cauce principal, en m

S Pendiente del cauce principal, en %

P_e Precipitación en exceso, en cm

$$\sum P_e = \frac{\left[\sum P - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{\sum P + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

P Precipitación acumulada para el instante considerado, en cm.

N Numero N de escurrimiento

i. Método I Pai Wu

$$Q_{\max} = \frac{2.78 * A * P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

Q_{max} Gasto Pico, en m³/seg.

A superficie de la cuenca, en Km² (se obtiene del estudio geomorfológico)

t_p tiempo pico, en horas

$$t_p = 4660 * A^{1.085} * L^{-1.233} * S^{0.668}$$

L Longitud del cauce principal, en m

S Pendiente del cauce principal, en %

f(n, t_p)

$$f(n, t_p) = \frac{(n-1)^n * e^{(1-n)}}{\Gamma n}$$

P_e Precipitación en exceso, en cm

$$\sum P_e = 0 \quad \text{si } \sum P \leq P_o$$

$$\sum P_e = \frac{(\sum P - P_o)^2}{\sum P + 4P_o} \quad \text{si } \sum P > P_o$$

ΣP Precipitación acumulada para el instante considerado, en cm.
 ΣP_e Precipitación acumulada en exceso, en cm.
 P_o Precipitación interceptada, en cm.

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

N Numero N de escurrimiento

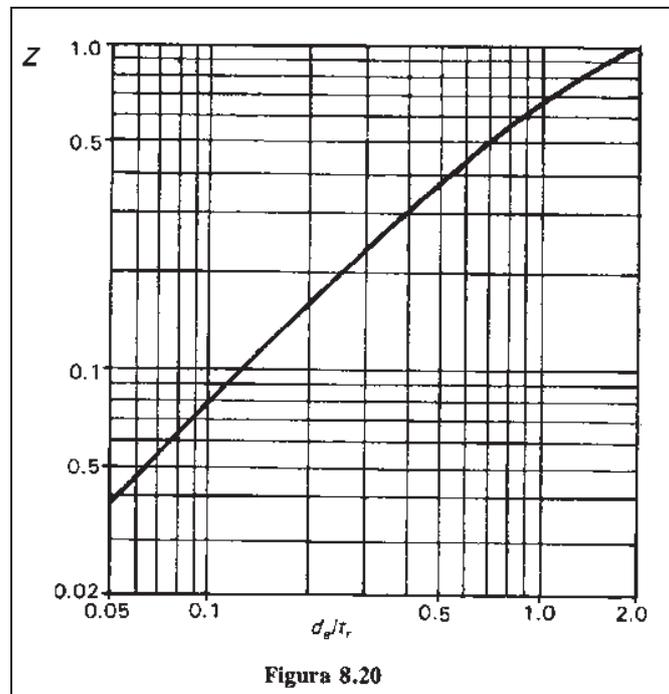


Figura 4.31, Figura 8.20 del libro de Aparicio.

IV.4.3 GASTO MAXIMO DE DISEÑO (HIDROGRAMAS)

Empleando los diferentes métodos presentados en el apartado anterior se obtienen los gastos máximos para cada una de las cuencas, para los periodos de retorno seleccionados. Los resultados de cada uno de los métodos se presentan en las Tablas 4.34, 4.35, 4.36 y 4.37.

<i>Método Empleado</i>	<i>Periodo de Retorno (años)</i>					
	<i>20</i>	<i>50</i>	<i>100</i>	<i>200</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>
	Q max (m3/seg)					
Racional	396.441	463.503	513.759	563.833	629.898	679.826
Chow	457.696	597.355	706.274	817.683	968.239	1085.530
I Pai Wu	1692.744	2196.159	2587.752	2987.195	3525.770	3940.560
Hidrograma Unitario	545.159	708.736	824.941	966.157	1141.639	1276.840

Tabla 4.34, Gastos Máximos río Grande para diferentes métodos y diferentes periodos de retorno

<i>Método Empleado</i>	<i>Periodo de Retorno (años)</i>					
	<i>20</i>	<i>50</i>	<i>100</i>	<i>200</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>
	Q max (m3/seg)					
Racional	116.692	136.431	151.224	165.963	185.409	200.105
Chow	89.554	120.255	144.550	169.647	203.881	230.457
I Pai Wu	379.851	507.147	607.579	711.119	852.082	961.347
Hidrograma Unitario	127.333	167.875	199.658	232.282	276.516	310.689

Tabla 4.35, Gastos Máximos río Chiquito para diferentes métodos y diferentes periodos de retorno

<i>Método Empleado</i>	<i>Periodo de Retorno (años)</i>					
	<i>20</i>	<i>50</i>	<i>100</i>	<i>200</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>
	Q max (m3/seg)					
Racional	157.275	183.880	203.817	223.683	249.892	269.699
Chow	177.166	234.558	279.647	325.996	388.924	437.591
I Pai Wu	913.291	1195.829	1416.525	1642.517	1948.235	2183.968
Hidrograma Unitario	204.028	265.371	304.960	361.919	427.786	478.486

Tabla 4.36, Gastos Máximos río Apamila para diferentes métodos y diferentes periodos de retorno

<i>Método Empleado</i>	<i>Periodo de Retorno (años)</i>					
	<i>20</i>	<i>50</i>	<i>100</i>	<i>200</i>	<i>500</i>	<i>1000</i>
	Q max (m3/seg)					
Racional	59.164	69.172	76.672	84.145	94.004	101.455
Chow	43.166	57.894	69.542	81.569	97.968	110.695
I Pai Wu	338.264	452.522	542.758	635.851	762.674	861.032
Hidrograma Unitario	59.467	78.057	92.240	106.741	126.330	141.419

Tabla 4.37, Gastos Máximos río Apamila para diferentes métodos y diferentes periodos de retorno.

Se observa de la Tablas, que los métodos “Racional, Chow, e Hidrograma Unitario”, son cercanos y mantienen la misma tendencia, siendo el más desfavorable de estos tres, el método del Hidrograma Unitario Triangular, se descartó el método de “I Pai Wu” por dar valores de 3 a 5 veces el HUT. Por lo tanto se selecciono los resultados del método “Hidrograma Unitario Triangular”, presentándose a continuación los “Hidrogramas” correspondientes para las cuencas y para cada uno de los periodos de retorno seleccionados, figura 4.32 a la figura 4.55. Dichos “Hidrogramas” permiten darle una forma regular a las ordenadas del mismo.

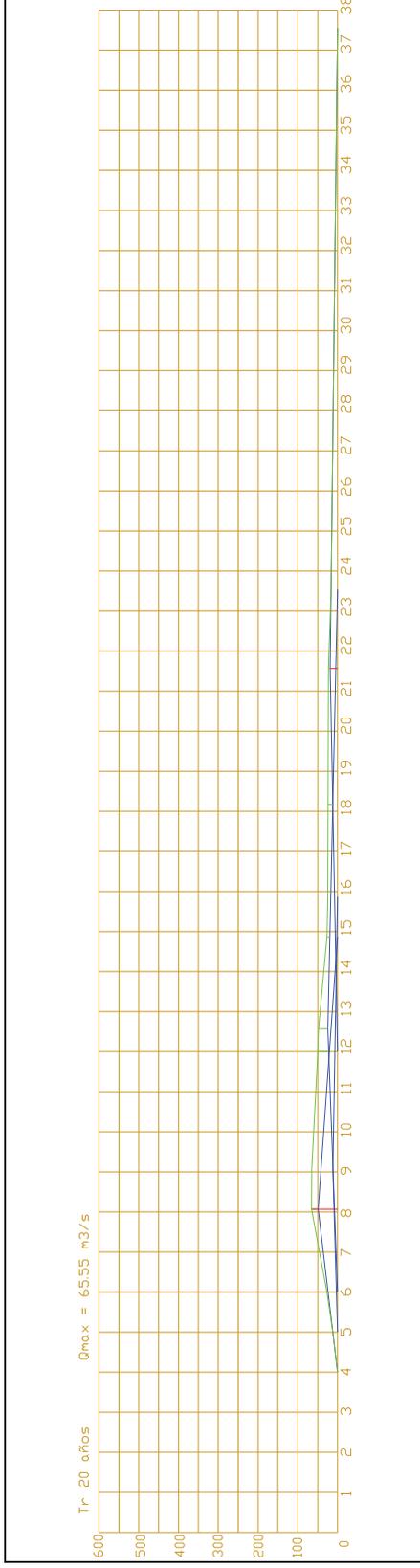


Figura 4.32, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 20 años en la cuenca del río Grande.

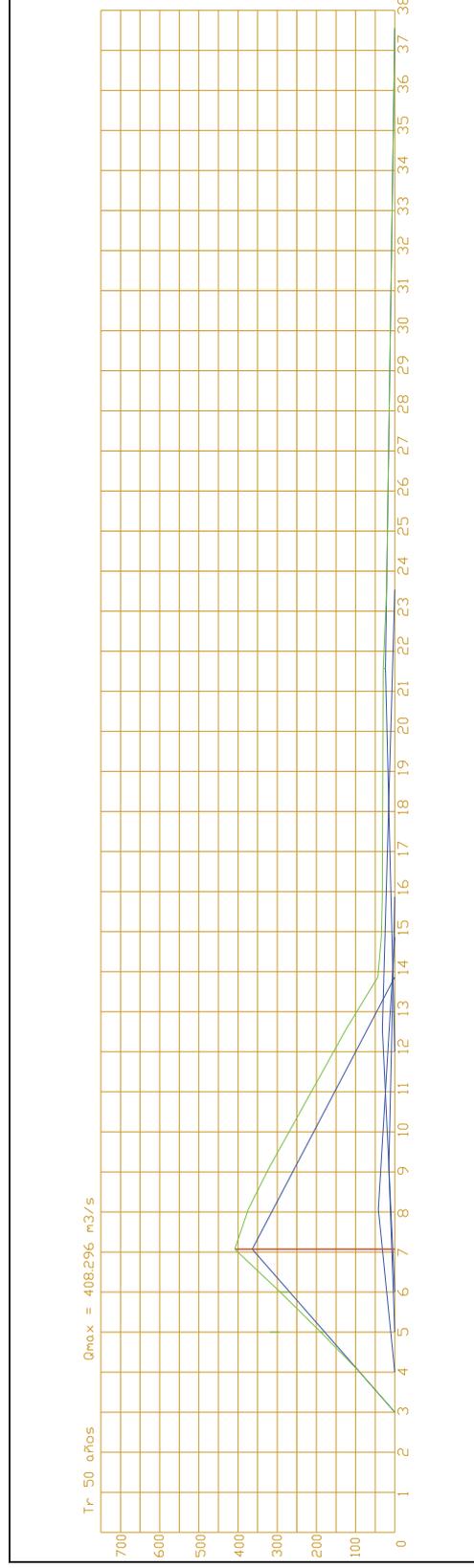


Figura 4.33, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 50 años en la cuenca del río Grande.

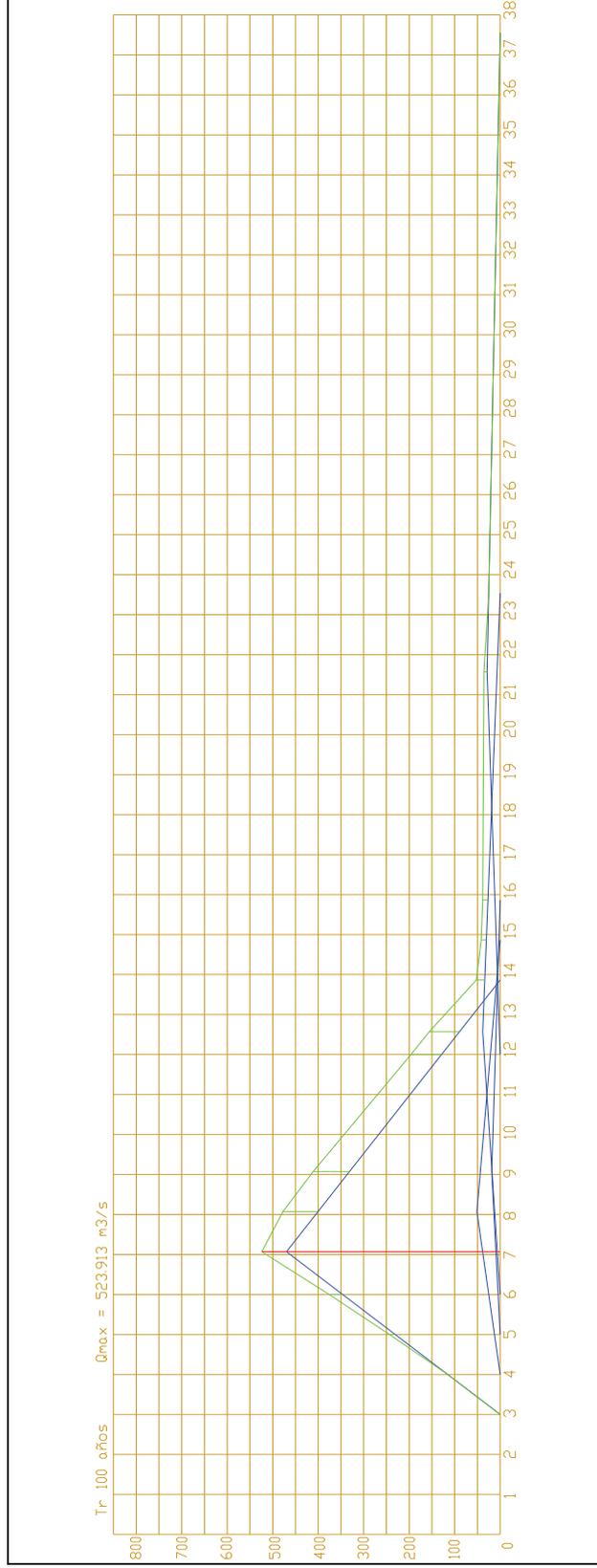


Figura 4.34, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años en la cuenca del río Grande.

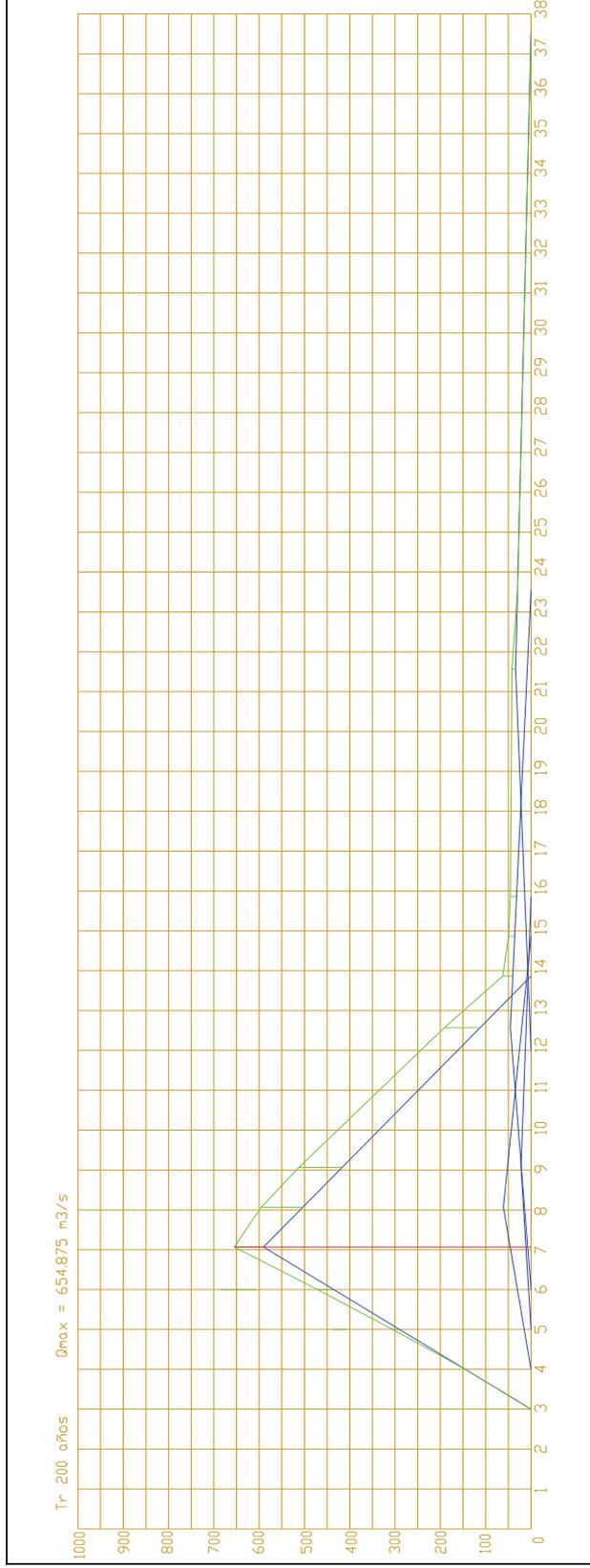


Figura 4.35, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 200 años en la cuenca del río Grande.

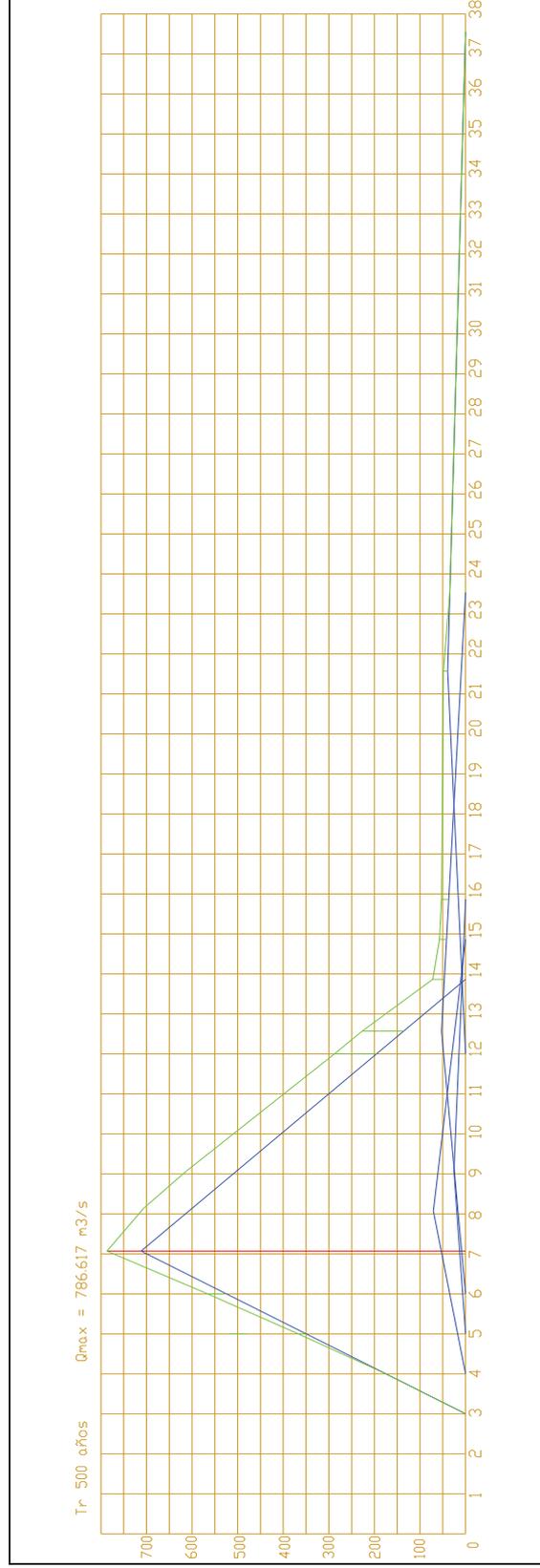


Figura 4.36, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 500 años en la cuenca del río Grande.

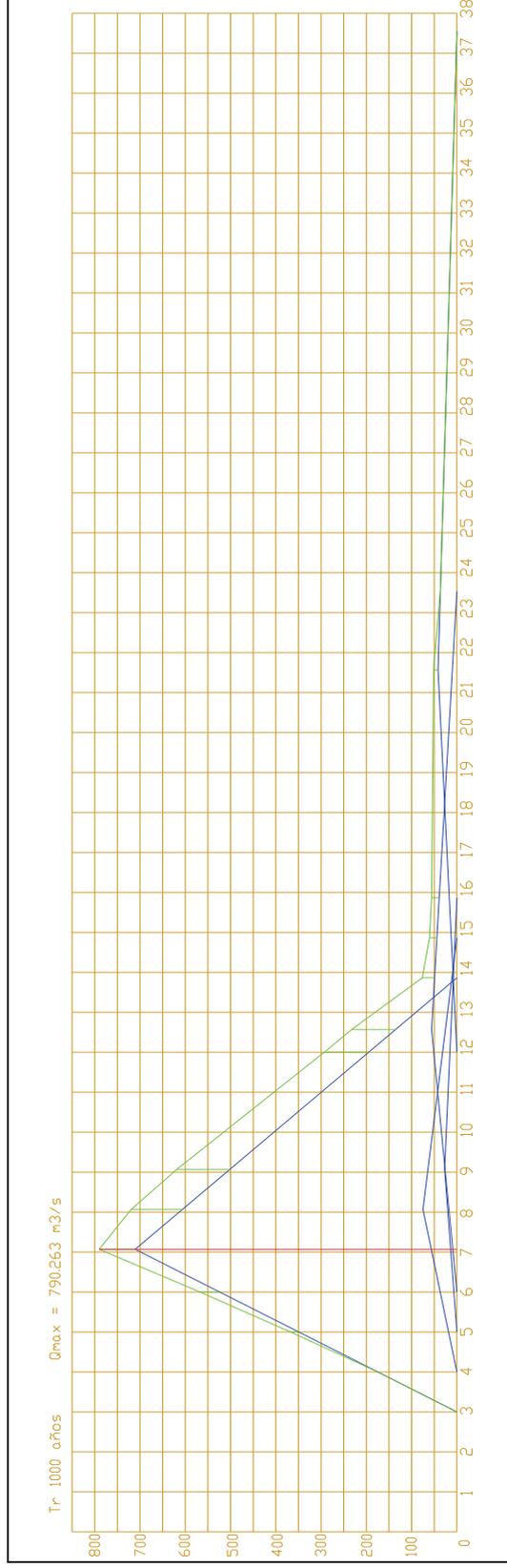


Figura 4.37, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 1000 años en la cuenca del río Grande.

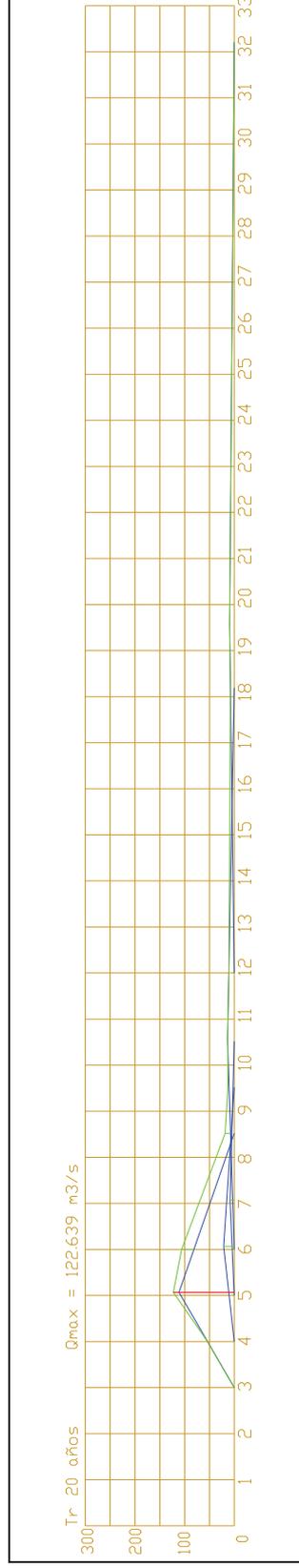


Figura 4.38, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 20 años en la cuenca del río Apamila.

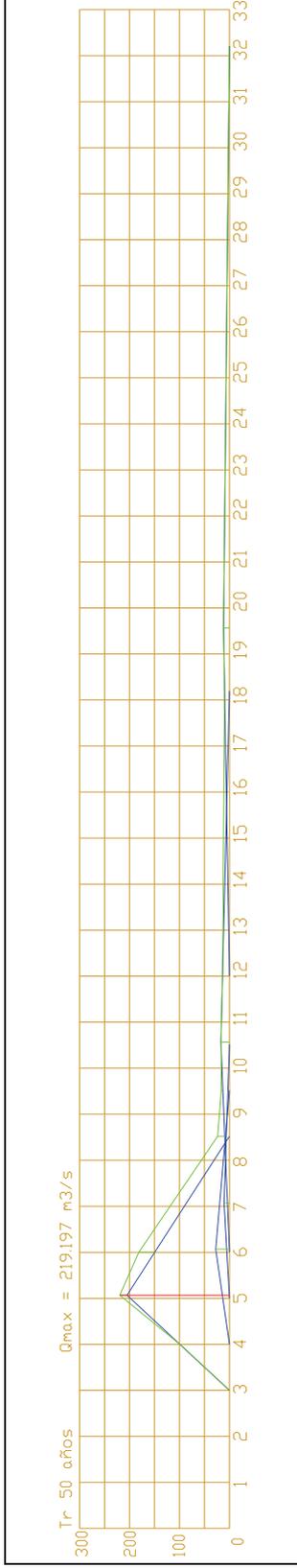


Figura 4.39, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 50 años en la cuenca del río Apamila.

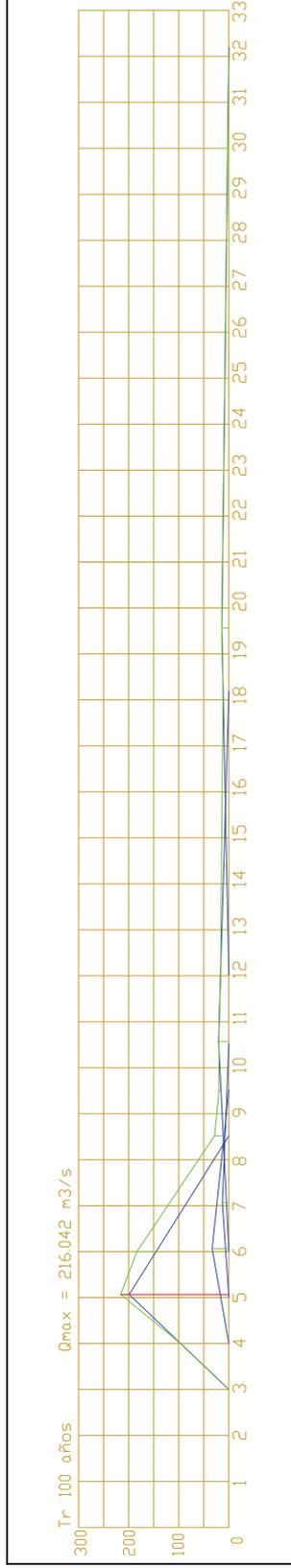


Figura 4.40, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años en la cuenca del río Apamila.

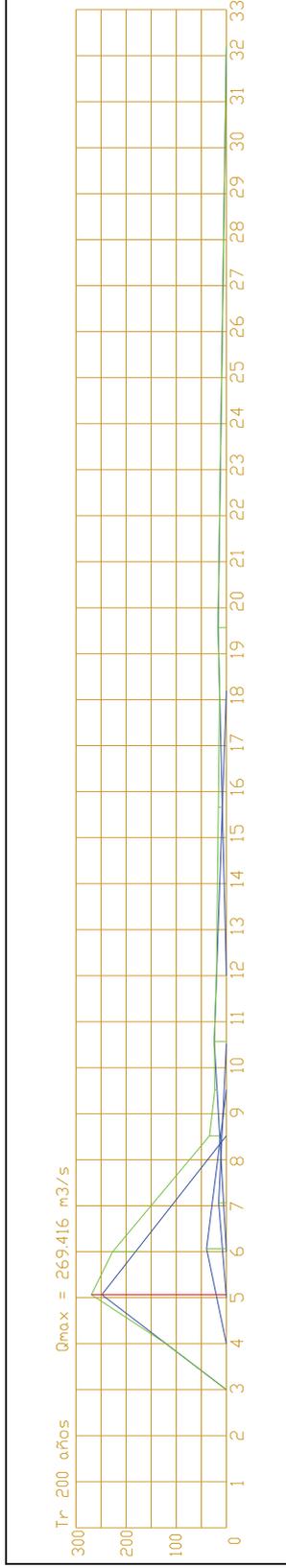


Figura 4.41, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 200 años en la cuenca del río Apamila.

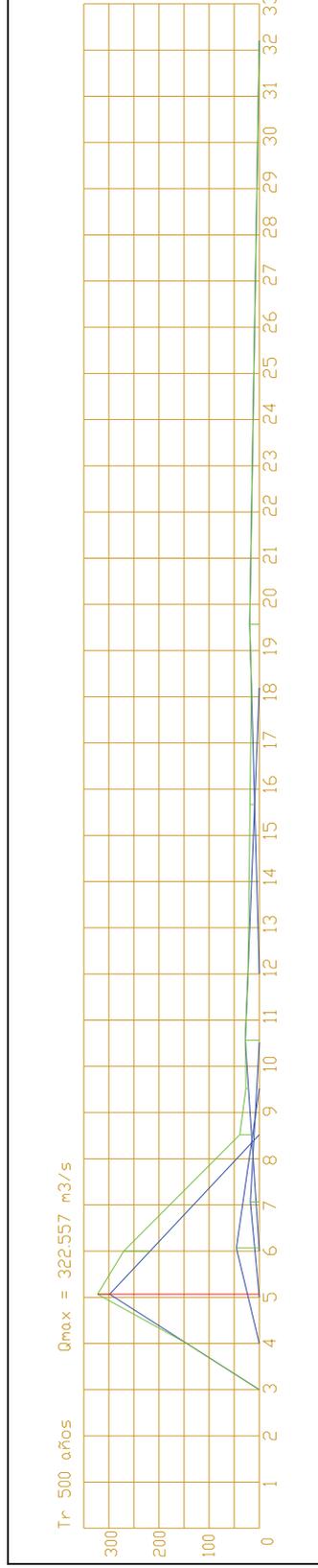


Figura 4.42, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 500 años en la cuenca del río Apamila.

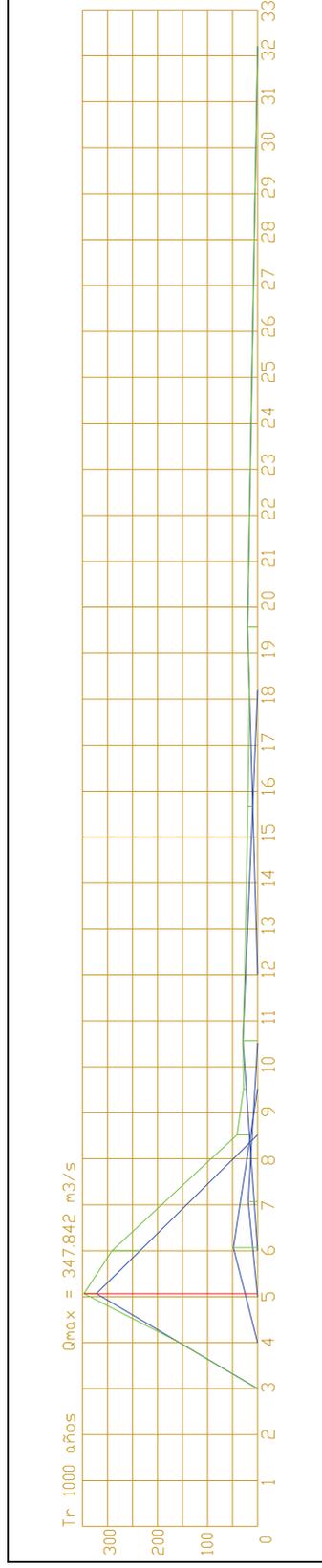


Figura 4.43, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 1000 años en la cuenca del río Apamila.

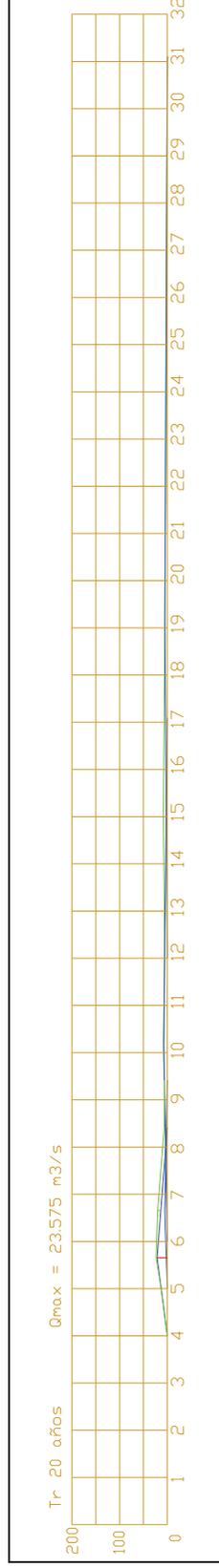


Figura 4.44, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 20 años en la cuenca del río Chiquito.

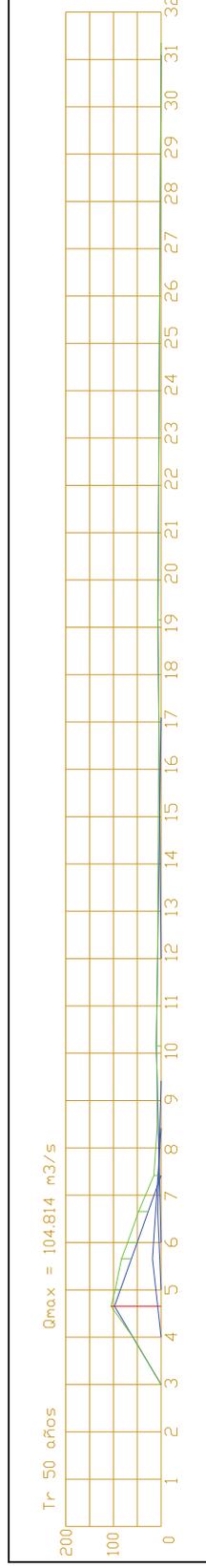


Figura 4.45, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 50 años en la cuenca del río Chiquito.

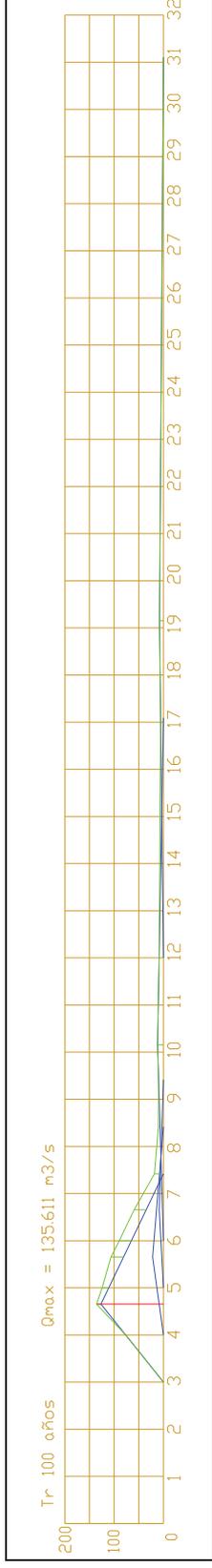


Figura 4.46, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años en la cuenca del río Chiquito.

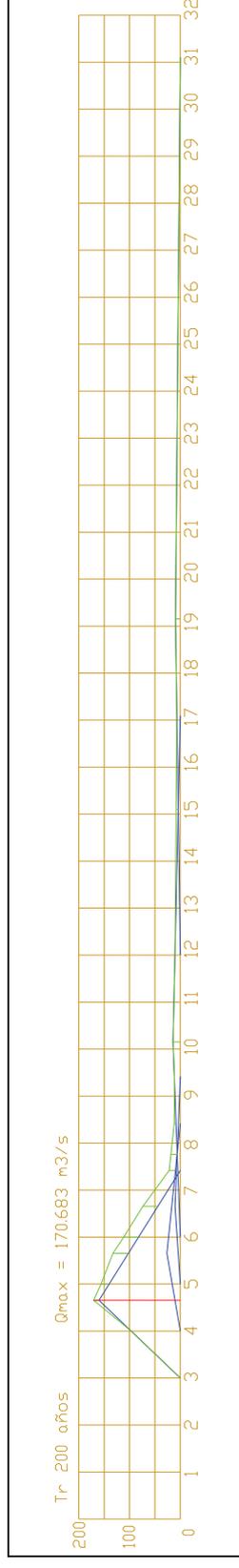


Figura 4.47, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 200 años en la cuenca del río Chiquito.

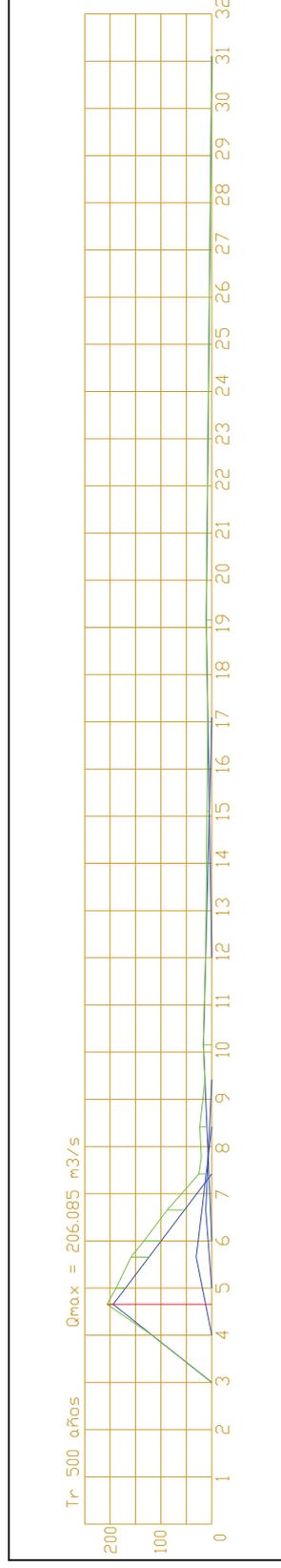


Figura 4.48, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 500 años en la cuenca del río Chiquito.

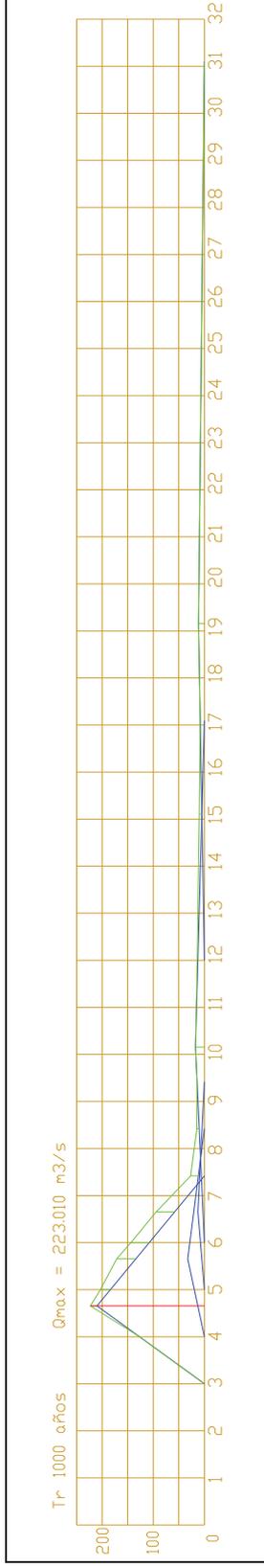


Figura 4.49, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 1000 años en la cuenca del río Chiquito.

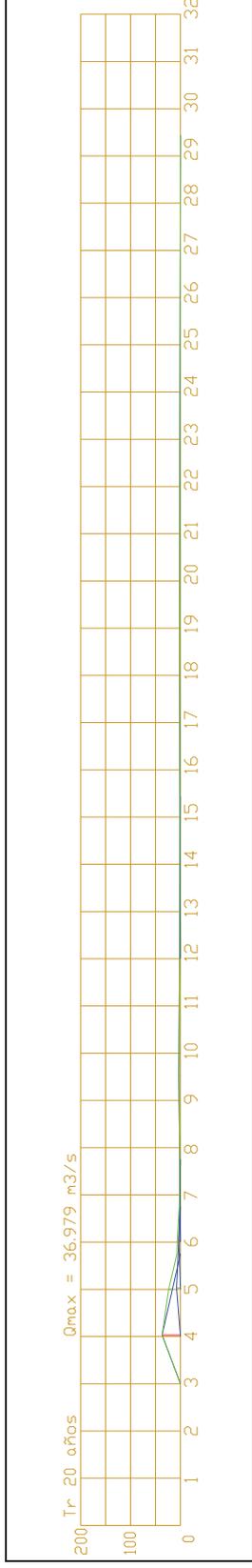


Figura 4.50, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 20 años en la cuenca del río Ánimas.

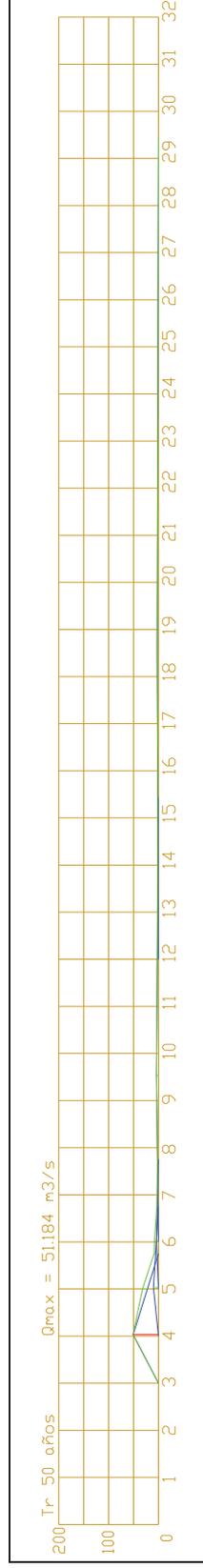


Figura 4.51, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 50 años en la cuenca del río Ánimas.

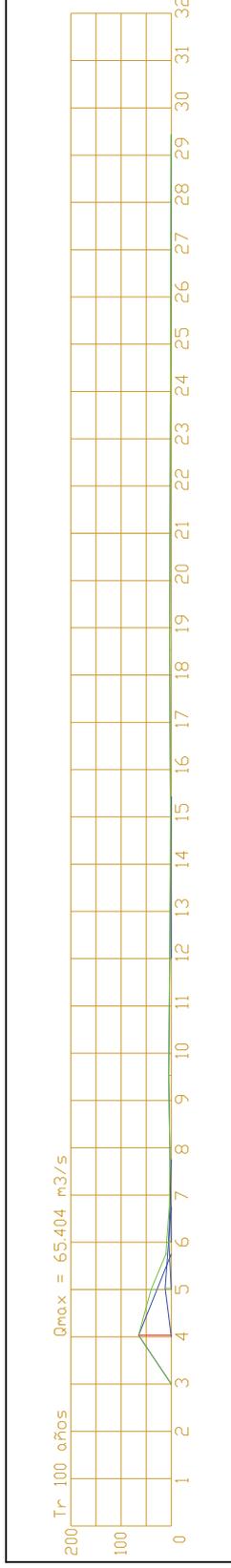


Figura 4.52, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años en la cuenca del río Ánimas.

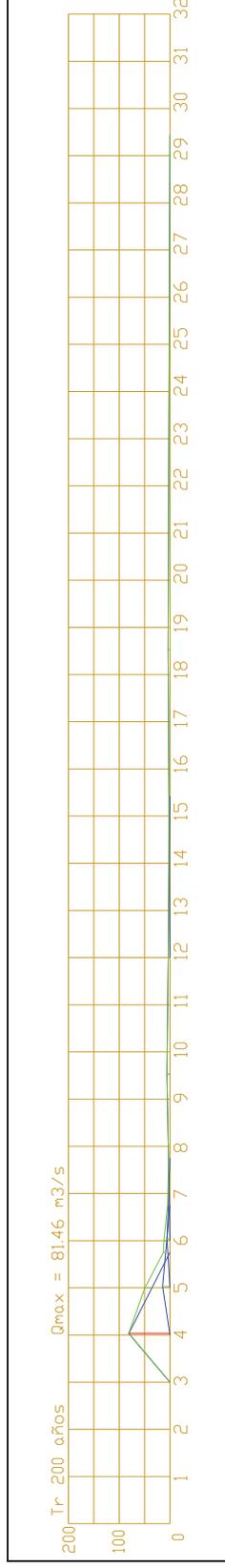


Figura 4.53, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 200 años en la cuenca del río Ánimas.

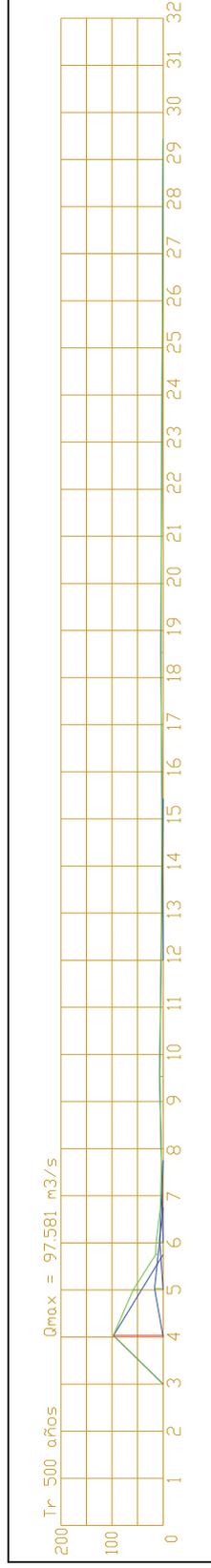


Figura 4.54, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 500 años en la cuenca del río Ánimas.

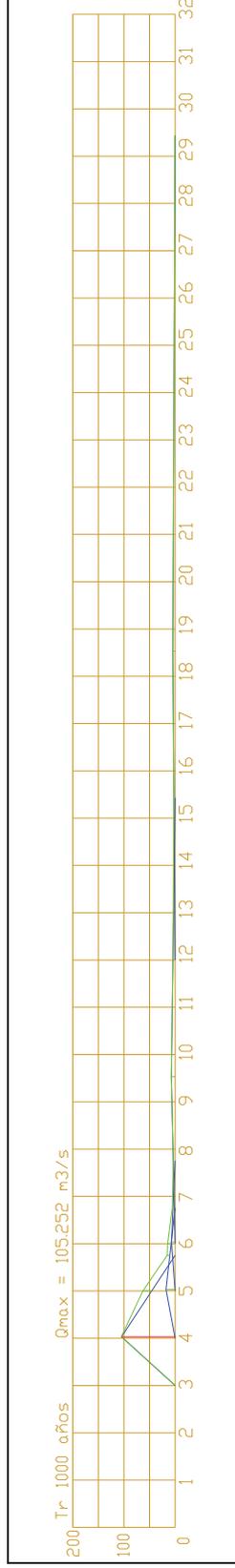


Figura 4.55, Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 1000 años en la cuenca del río Ánimas.



CAPITULO V

ESTUDIO HIDROLÓGICO CON HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS



V.1 PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCION DE LA INFORMACION: MAPAS

V.1.1 OBTENCION DE MAPAS DIVERSOS, USANDO INFORMACION “MODELOS DIGITALES DE ELEVACION” (FORMATO RASTER).

Para el procedimiento de obtener mapas con el MDE, es necesario instalar el programa de “ArcView Gis 3.2”, así como extensiones desarrolladas para el mismo programa, las cuales permiten realizar los procedimientos de forma más rápida, entre ellas tenemos el “Hec-GeoHMS 1.1, 3D Analyst (1.0), Spatial Analyst (1.1), Tracking Analyst (1.0), Image Analyst 1.0, Network Analyst 1.0, Hidrologic Modeling (V11)”, entre otras. El ArcView Gis que utilizamos para el desarrollo de esta tesis cuenta con las extensiones anteriormente mencionadas.

El programa de “ArcView Gis 3.2”, es el que abre un archivo de formato Raster, como por ejemplo el “Modelo Digital de Elevaciones”.

Primeramente trabajaremos con los Modelos Digitales de Elevación.

El nombre de Modelo Digital de Elevación o 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.

En otras palabras, un Modelo Digital de Elevación es un grupo de valores que representa puntos sobre la superficie del terreno cuya ubicación geográfica está definida por coordenadas "X" y "Y" a las que se les agrega un valor de "Z" que corresponde a la 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.

(<http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/normatividad/mde/menu.cfm>)

Los MDE se suelen descargar de la pagina de INEGI, (<http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx>), en esta página virtual se encontrara un apartado con el nombre de “Geografía”, el cual contiene temas como conceptos, datos, normativas, acceso directo, el que nos interesa es el correspondiente a “Datos”, en el cual se localiza “Descargas gratuitas”, y se da clic, ver figura 5.1.

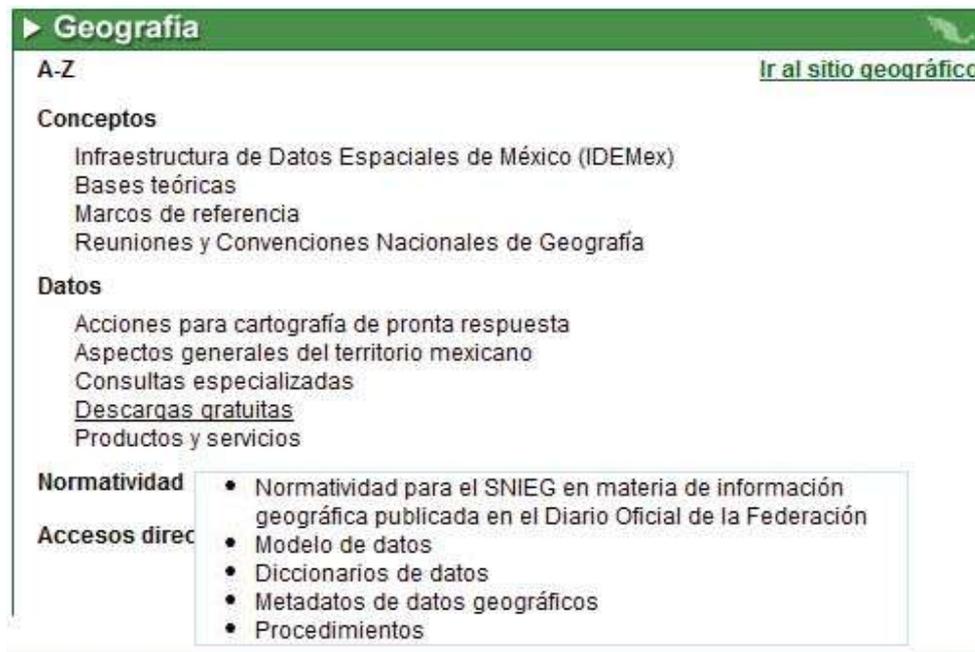


Figura 5.1, Recorte de la página de “INEGI”, donde se puede observar claramente la sección de geografía con el contenido que nos interesa.

El texto antes mencionado envía a una nueva ventana, la cual presenta la opción “continuo de elevaciones mexicanas”, se da clic a la opción y envía a otra ventana, la que presenta el mapa de la república mexicana, aun lado de este mapa se encuentra la opción de “acceso al sistema”, se da clic, ver figura 5.2.

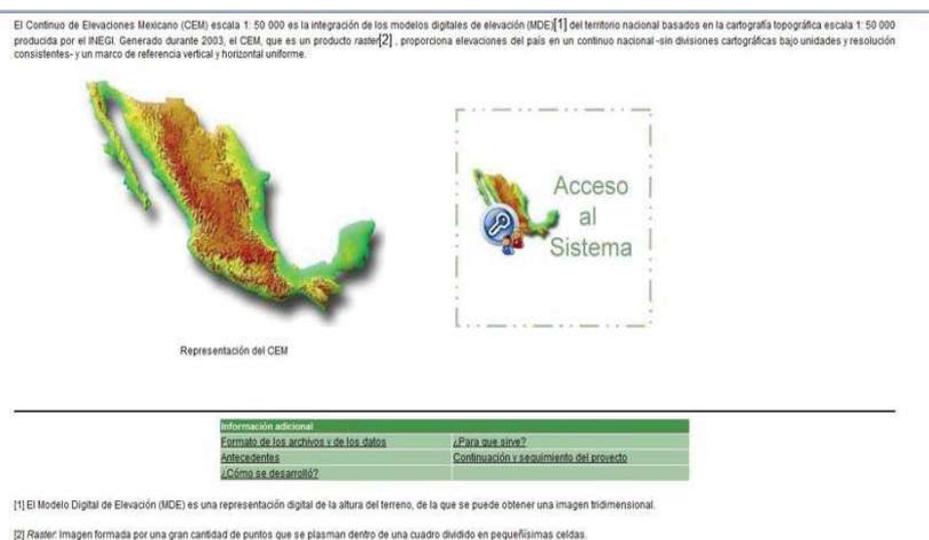


Figura 5.2, Muestra con claridad la posición de la opción de “acceso al sistema”, la cual es seleccionada para abrir una nueva ventana.

Esta nueva ventana, pide la clave de usuario y la contraseña, figura 5.3, en caso de que no se tenga, se puede registrar el usuario de una manera rápida, cuando se llenan estas dos opciones, en seguida se da clic A la opción inferior “**sistema de descarga del continuo de elevaciones mexicanas MDE**”, al momento de hacer esto, nos regresa a la ventana anterior, figura 5.2, de nueva cuenta damos clic en “**acceso al sistema**”, y esta nos lleva a la página de registro, figura 5.3, en esta se pone nuevamente la clave de usuario y la contraseña, nos aseguramos de que en la parte inferior de la ventana el MDE esté en azul y se da clic A la opción “**Entrar**”, abre una ventana donde se puede descargar los MDE, con solo colocar la posición o la clave del MDE que se bajara, ver figura 5.4.

Estimado usuario:

Para acceder a la información de su interés, proporcione su clave de usuario y contraseña:

Clave de usuario:

Contraseña:

[¿Olvidó su contraseña?](#)
[¿Desea consultar o modificar sus datos?](#)

Si aún no cuenta con su clave de usuario y contraseña

 **Gratis**
¡Regístrate ahora!
Click aquí

Su registro nos permitirá conocer mejor sus necesidades de información y reconocerlo como usuario en sus próximas visitas.
Recuerde que se le solicitará ingresar su clave de usuario y contraseña para consultar las siguientes secciones:

- Descarga de información de la Red Geodésica Nacional Activa [RGNA](#)
- Sistema de descarga del Continuo de Elevaciones Mexicano [MDE](#)
- Sistema de descarga de información Geográfica escala 1:1'000,000 [DIG1M](#)
- Servicio de Información Estadística de Coyuntura [SIEC](#)

Figura 5.3, Muestra en la parte superior la petición de la clave de usuario y la contraseña, así como en la parte inferior la opción de “sistema de descarga del continuo de elevaciones mexicano MDE.



Figura 5.4, Muestra la ventana de INEGI, en la cual podemos hacer descargas por medio de coordenadas geográficas o con la clave del MDE que deseamos bajar.

Los archivos descargados de la pagina de “INEGI”, es recomendable utilizar la unidad “C” como el directorio de almacenamiento.

La otra manera de obtener los MDE es comprándolo en INEGI, la principal diferencia encontrada entre un MDE descargado de la pagina de INEGI y uno comprado es la resolución que se tiene. PARA NUESTRO caso se trabajara con un MDE comprado.

V.1.1.1 MAPA DE LAS CUENCAS USANDO MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES.

Para comenzar con el manejo del programa “ArcView Gis 3.2” es necesario abrirlo, haciendo un doble clic sobre el icono que representa dicho programa y nos muestra la siguiente ventana con tres opciones para elegir: un nuevo proyecto, un proyecto en blanco ó abrir un proyecto existente, ver figura 5.5.

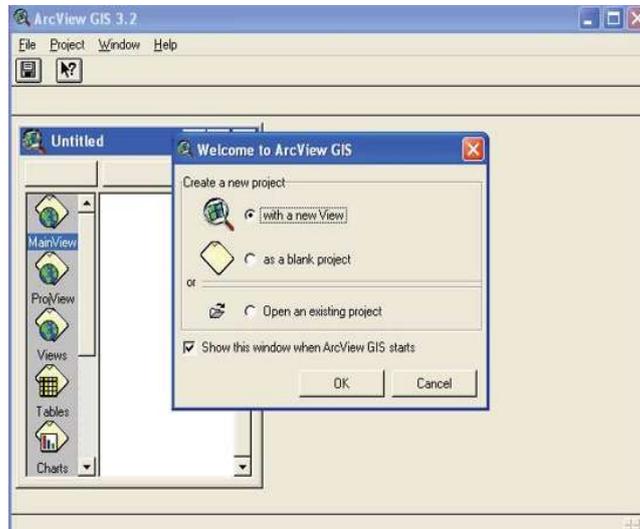


Figura 5.5, Se observan las tres diferentes opciones que se dan, el programa “ArcView Gis 3.2” por default marca la primera opción, es decir, “un nuevo proyecto”.

Se deja la opción de “un nuevo proyecto” ya que comenzaremos desde llamar un MDE (Modelo Digital de Elevación) del directorio donde se encuentra guardado.

Ya habiendo presionado el botón “ok” en “ArcView Gis 3.2” nos muestra otra ventana la cual nos dice que si queremos agregar un dato a la ventana, seleccionamos “Yes”, figura 5.6.

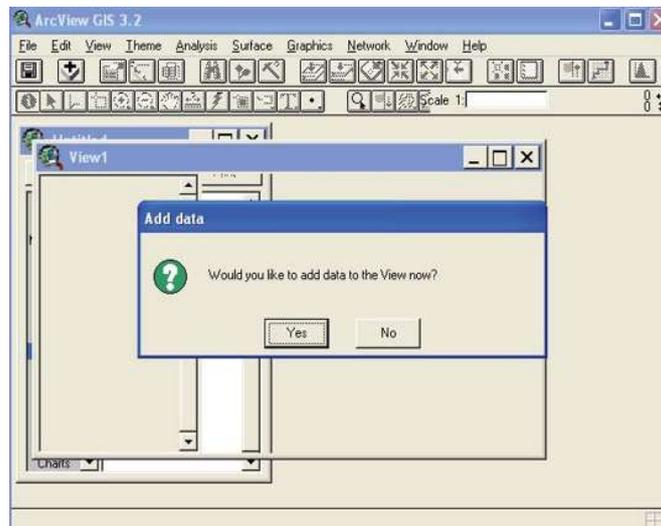


Figura 5.6, Ventana con las dos diferentes opciones, “Yes” o “No”.

A continuación nos mostrara otra ventana pidiéndonos el origen del MDE (donde lo hemos guardado). Es necesario aclarar que debemos crear una carpeta en una unidad

y guardar todo ahí para llevar un mejor orden ya que el programa crea carpetas y es más complicado encontrar su ruta, en este caso se creó la carpeta en la unidad “C”, otro dato que es muy importante es que no pasemos de ocho caracteres en cada paso que guardemos, a veces el “ArcView 3.2” no reconoce la ruta cuando es muy largo el nombre. Para nuestro caso la ruta donde fue guardado el MDE es: C:/tesmapas/mapas//datos comprados/mde/e13b56.

Para poder abrir el MDE, es necesario seleccionar en la pestaña de la parte inferior izquierda la forma “Image Data Source”, esta opción nos muestra los diferentes formatos en que se encuentra el MDE y seleccionamos el formato “.bil”, figura 5.7.

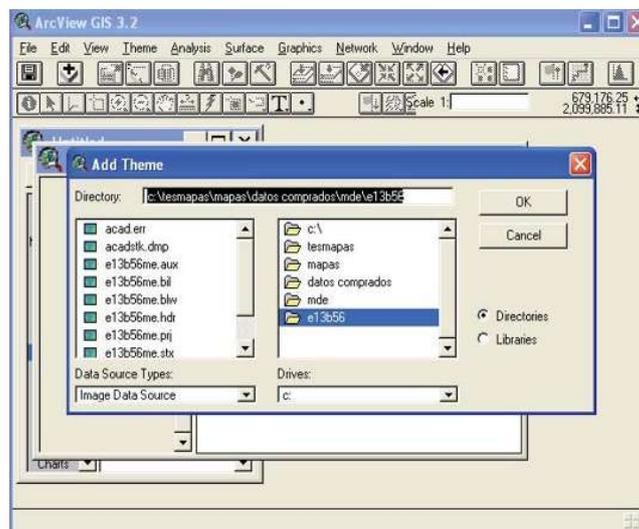


Figura 5.7, Muestra la ruta donde se encuentra guardado el archivo, así como la opción que se debe de colocar en el desplegable o pestaña encontrada en la parte inferior izquierda para que pueda mostrar la información.

Hechos los pasos anteriores el “ArcView 3.2” nos muestra la imagen del MDE en formato “.bil”, esta imagen es la base para hacer el estudio Hidrológico, figura 5.8.

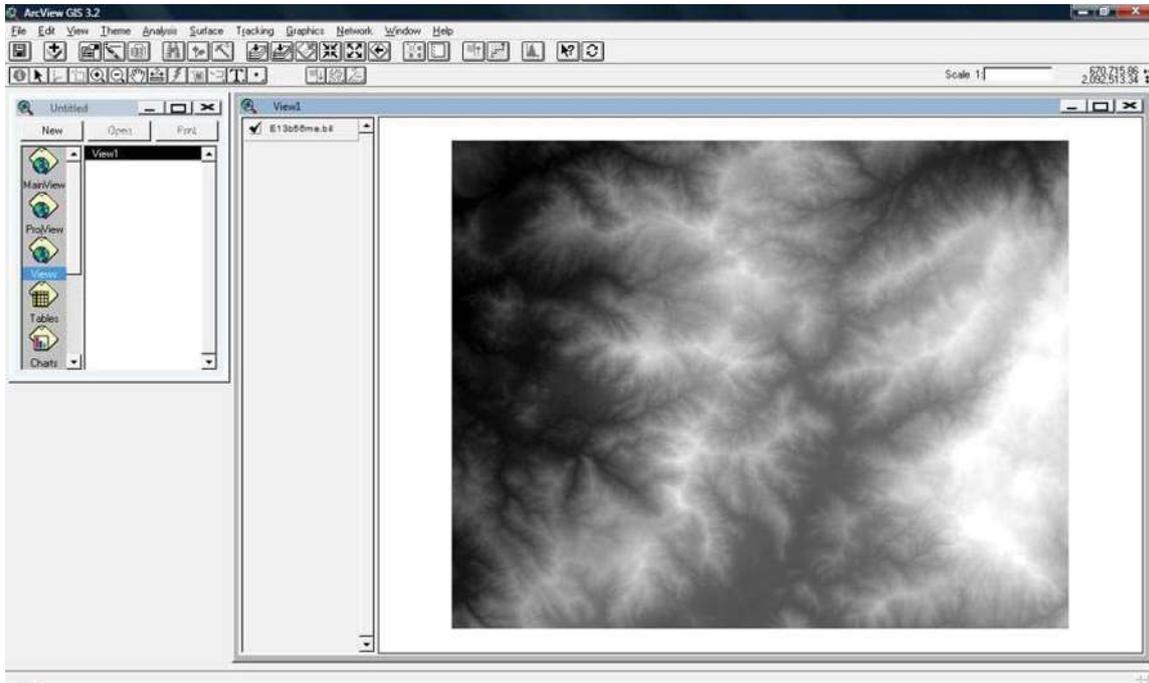


Figura 5.8, Se observa el MDE, los MDE descargados de la página de INEGI se observan solamente como un recuadro totalmente negro.

Ya habiendo llamado al MDE se hace un cambio o transformación en tal imagen, esto es para poder encontrar las propiedades que posee el MDE y poder realizar la transformación a formato “.shp”, esto se hace de la siguiente manera: nos vamos a la herramienta “Theme – Convert to Grid”, figura 5.9.

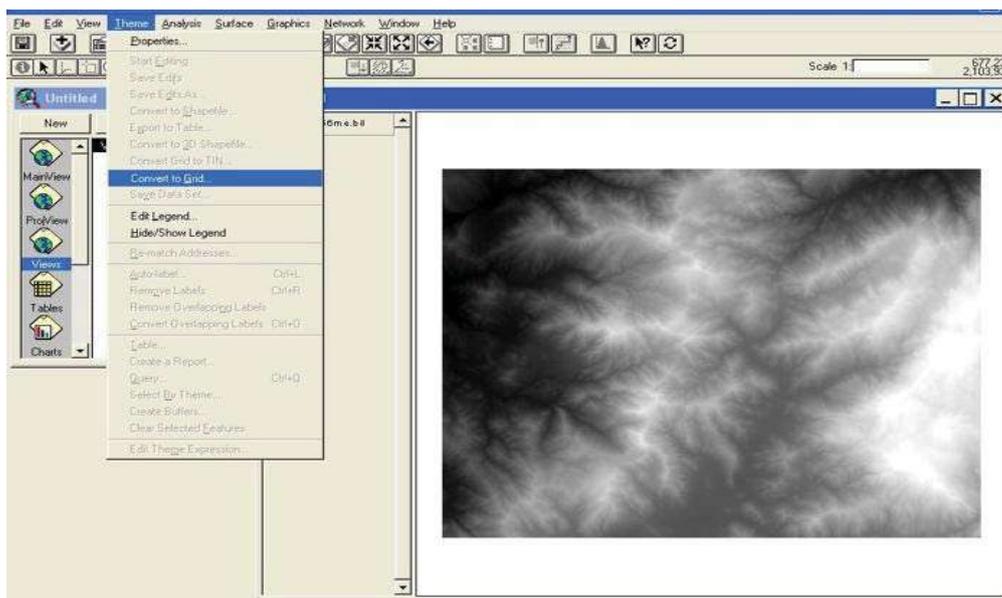


Figura 5.9, Aparece en la pestaña “Them”, la opción “Convert to Grid”.

En el siguiente paso nos pide una ruta para guardar el cambio, como se menciona anteriormente, se creó una carpeta en “C” y ahí es donde se guardará la nueva imagen que se va a crear, figura 5.10.

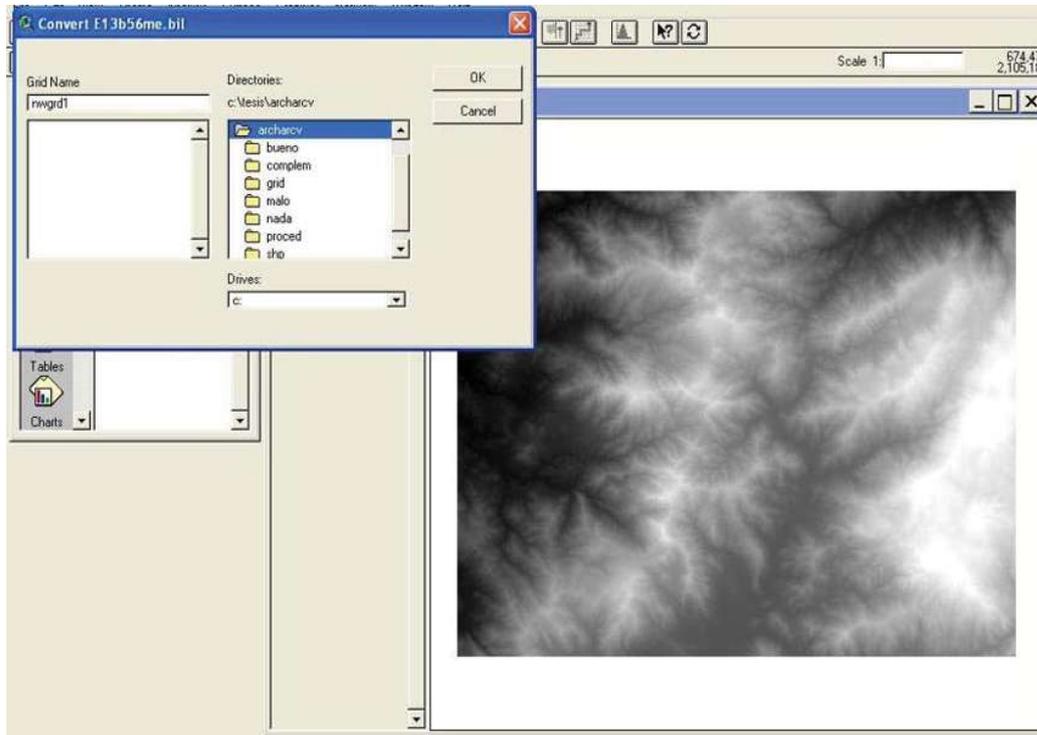


Figura 5.10, Muestra la ruta para guardar el Grid generado.

Al momento de dar “Ok” para aguardar el “Grid”, nos aparecerá otra ventana, a la cual daremos “Yes” para que nos muestre el “Grid” generado, el cual es el cambio de formato “.bil” a formato “Grid”, esta imagen será tratada para hacer varios pasos como son encontrar pendientes, curvas de nivel entre otros mapas, figura 5.11.

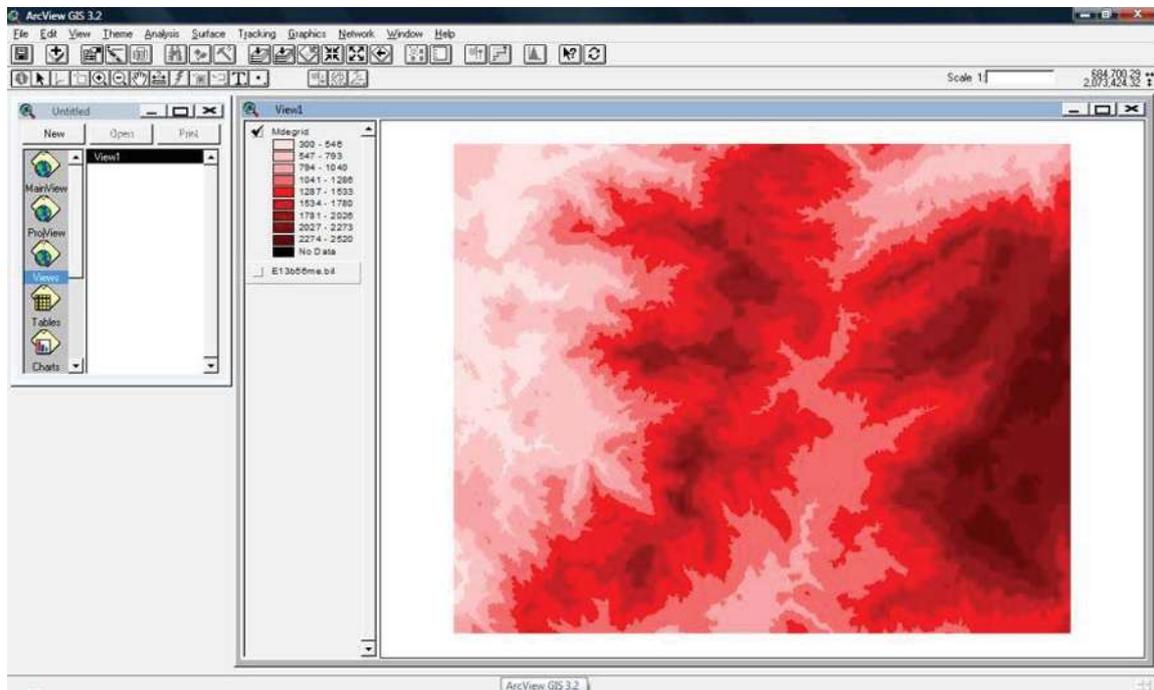


Figura 5.11, Muestra el cambio del formato “.bil” a formato “Grid”.

Otro paso a seguir es la conversión de formato “Grid” a formato “.shp”, el formato “.shp” lo utilizaremos para hacer cortes en la imagen, estos cortes serán para trabajar solamente en la(s) cuenca(s) que vamos a estudiar, para la conversión seleccionamos el tema o capa que nos muestra la imagen en formato “Grid”, esto lo hacemos simplemente dando un clic izquierdo sobre dicha capa o tema y nos vamos a la ventana “Theme – Convert to Shapefile”, figura 5.12.

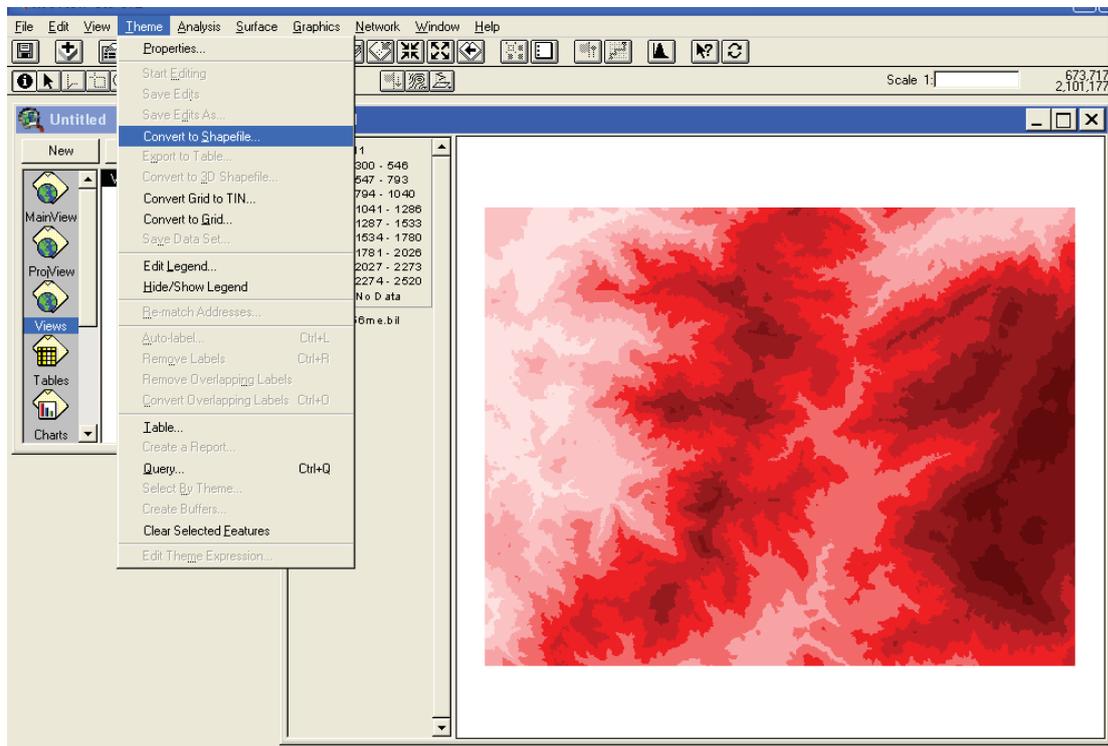


Figura 5.12, Pestaña donde nos muestra la opción para la conversión a formato “.shp”.

De la misma manera que se hizo para guardar el cambio de formato “Grid”, daremos la ruta para guardar el formato “.shp” y se aceptara en la ventana que aparecerá al momento de guardar dicho formato, esto para que al igual que en el formato “Grid”, aparezca el “.shp” generado en “ArcView 3.2”, esta imagen la utilizaremos para hacer cortes, no hay que desesperarse ya que al hacer el cambio de formato puede tardar varios minutos, esto depende de la capacidad y velocidad de cada computadora, figura 5.13.

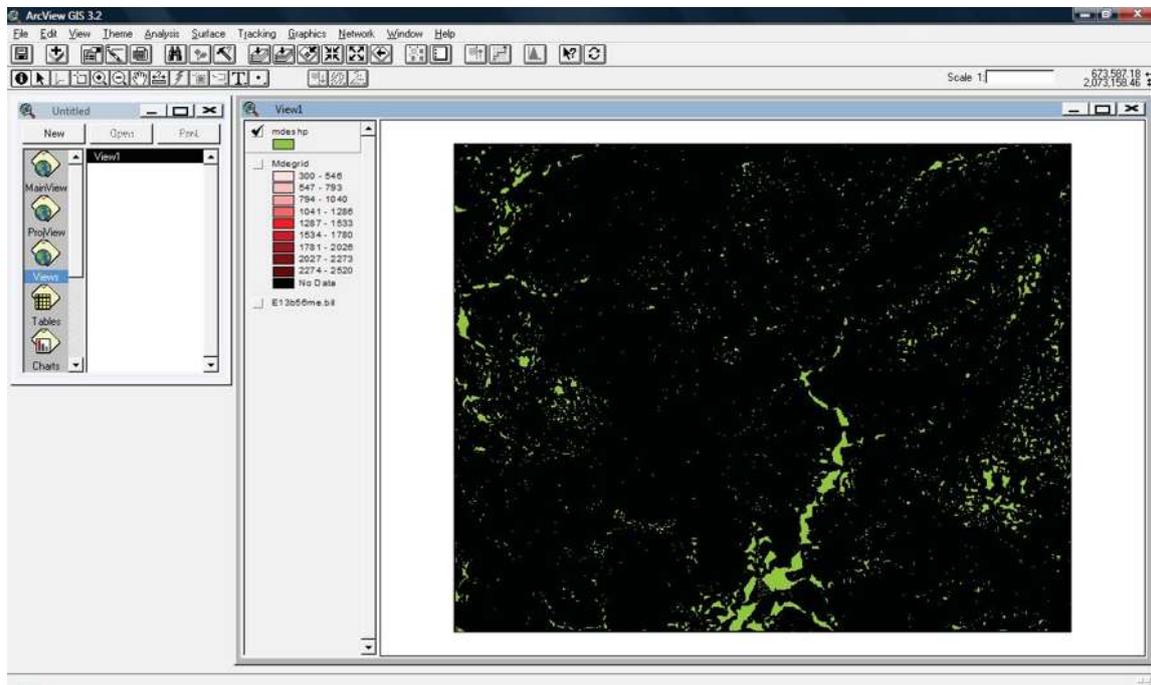


Figura 5.13, Muestra el (MDE) hecho el cambio de formato “Grid” a “.shp”.

Nuestro siguiente paso a seguir es la realización del corte del MDE, es decir, solo se dejara la porción del MDE que nos interesa (la zona en estudio o cuenca general), esto se realizara con una cuenca realizada manualmente en “AutoCad” (figura 5.14) y con una trazada automáticamente en “ArcView Gis 3.2” (el procedimiento de trazo automático de la cuenca general se verá más adelante en el subcapítulo 5.1.4).

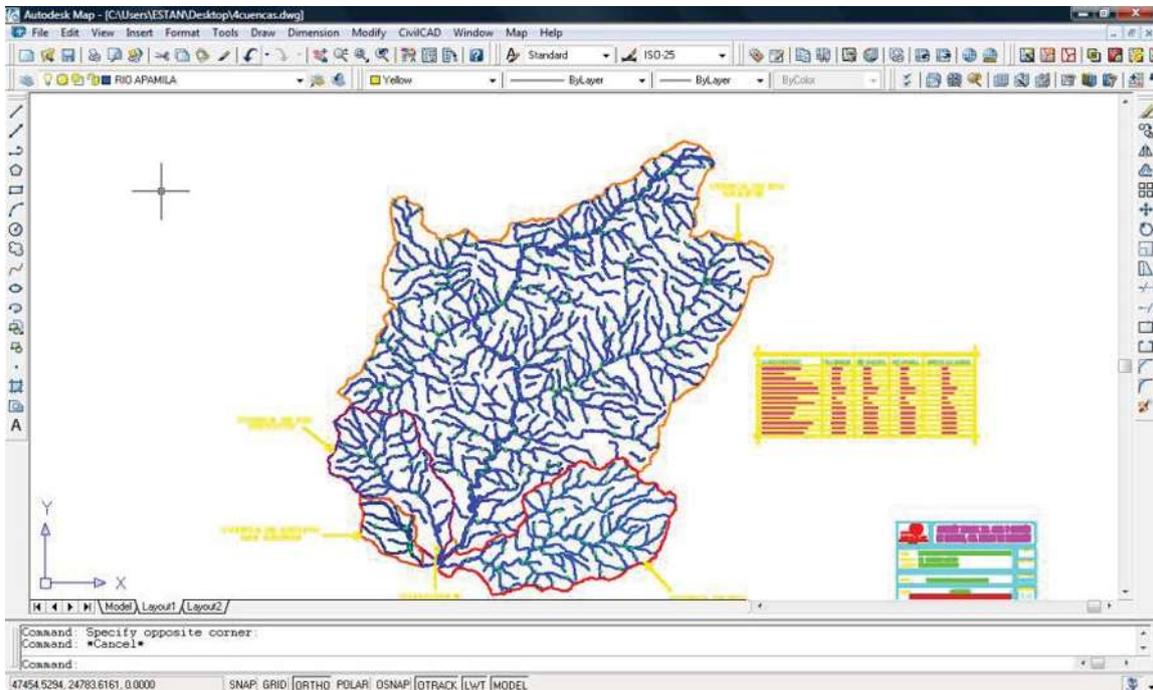


Figura 5.14, Muestra las diferentes cuencas trazadas en “AutoCad” para la zona de estudio de Coalcomán, las cuales unidas nos forman la cuenca que hemos denominado “cuenca general”, es importante mencionar que estas cuencas se encuentran en escala y referenciadas con las coordenadas “UTM”.

A) CUENCA TRAZADA MANUALMENTE.

Para el trazo de la cuenca en “AutoCad” fue necesario comprar en INEGI la carta topográfica escaneada “E13B56”, correspondiente a “Coalcomán de Vázquez Pallares”, en base a esta carta se realizó el trazo de las cuencas, figura 5.15.

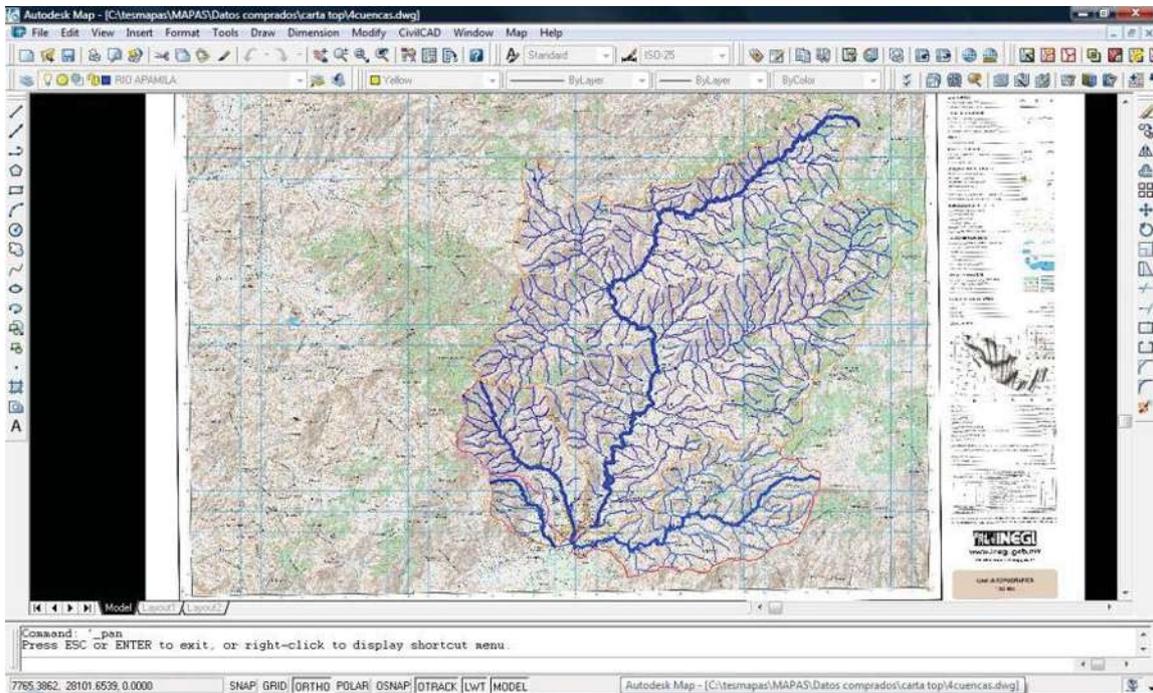


Figura 5.15, Las cuencas fueron trazadas en base a las corrientes obtenidas con la carta topográfica, recordemos que para la realización del trazo manual depende mucho de la interpretación de las curvas de nivel y las corrientes, así como de la visualización que pueda tener la persona que realice el trazo.

Una vez obtenida la delimitación de la cuenca general nuestro siguiente paso a realizar es la conversión del archivo generado en “AutoCAD” a un archivo que podamos leer en “ArcView Gis 3.2”, los pasos para realizar lo anterior son los siguientes:

Primeramente debemos de crear para las cuencas una capa (layer) en “AutoCad”, al momento de crearla debemos desactivar todas las demás capas, de tal manera que en “AutoCAD” solo nos quedaran las cuencas en estudio, figura 5.16.

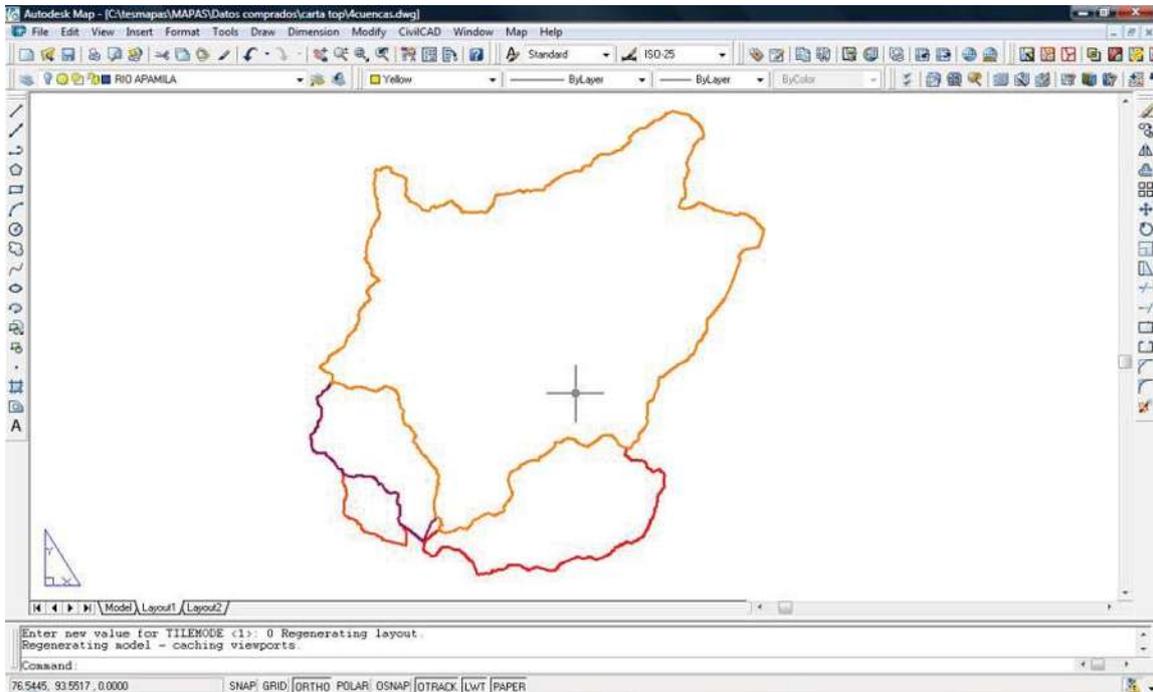


Figura 5.16, Muestra el trazo de las cuencas hechas manualmente en “AutoCad”.

Nuestro siguiente paso es la conversión del formato “.dwg”, el cual es el formato que “AutoCad” utiliza por default, este formato lo debemos de cambiar al momento de guardar el plano, por el formato “.dxf”, figura 5.17.

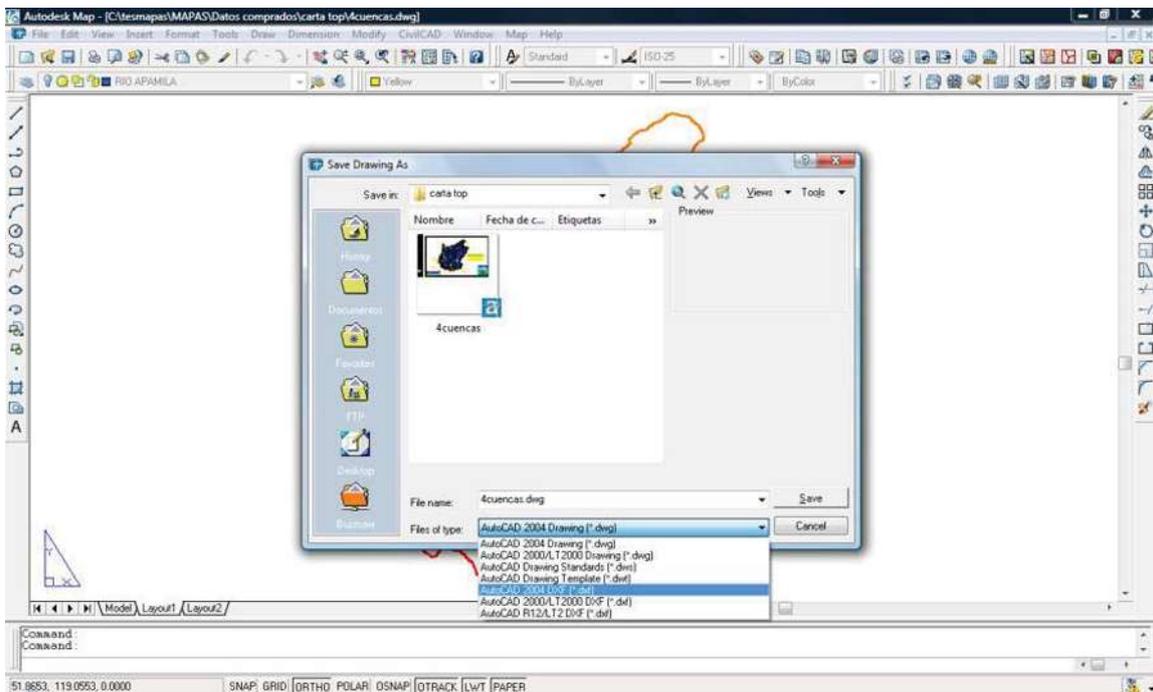


Figura 5.17, Forma para guardar el archivo en “.dxf”.

Recordemos que los archivos los podemos guardar en una sola carpeta para llevar un mejor orden, para nuestro caso estos archivos se colocaron en la unidad “C” en la carpeta anteriormente generada.

A continuación debemos de llamar el archivo desde “ArcView 3.2”, si ya tenemos una ventana (View) abierta, en caso de que no se tenga, en la ventana “Untitled” daremos doble clic izquierdo sobre el icono “Views”, una vez estando en la “View” formada el procedimiento para el llamado es simplemente dando clic en el icono “Add Theme” este tiene la forma , la otra manera de llamar un archivo es irnos al menú de “View” y en este seleccionar la opción “Add Theme”, en seguida nos aparecerá una ventana en la que debemos especificar la ruta donde anteriormente se guardo el archivo en formato “.dxf”, el procedimiento es el mismo que se utilizo en la figura 5.7, solo que ahora en el desplegable que tenemos en la parte inferior al lado izquierdo debemos confirmar que se tenga la opción “Feature Data Source” con esta opción nos aparecerá el archivo en formato “.dxf” en forma de carpeta, encima de esta carpeta se dará un clic y esta se desplegara, dándonos diversas opciones, la que elegimos es “Polygon”, debido a la especie de archivos utilizados en un principio los cuales son también “polígonos”, figura 5.18.

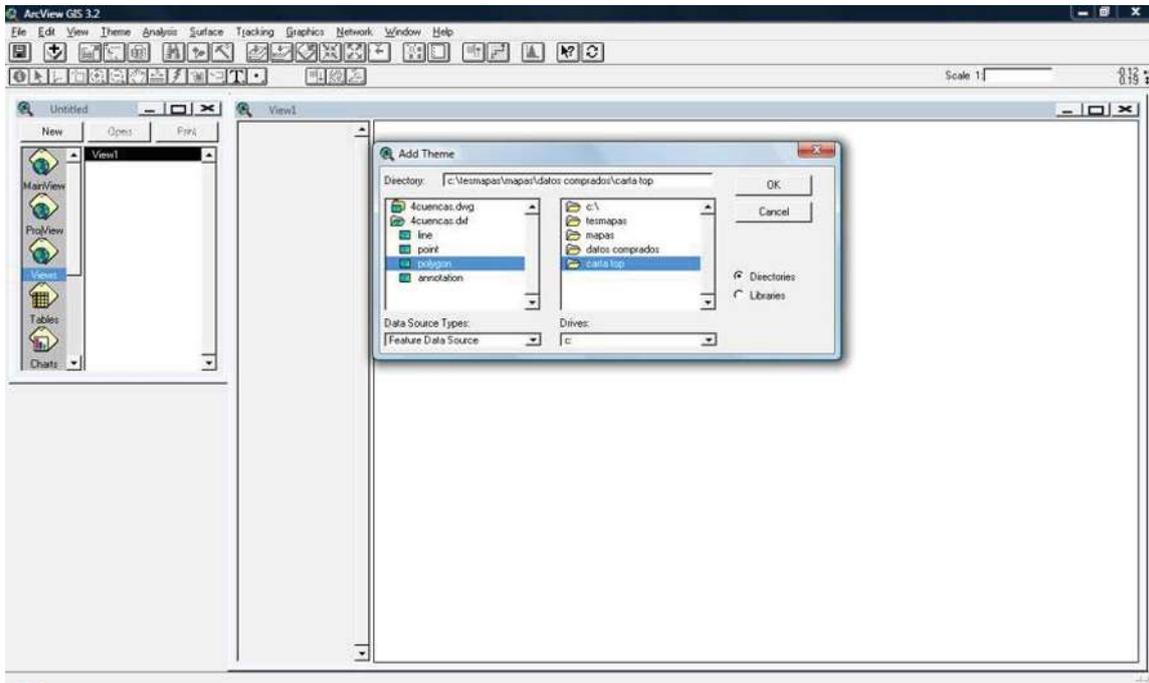


Figura 5.18, El procedimiento para llamar los datos se utiliza muy a menudo, en ocasiones es necesario llevar datos o figuras creadas en “AutoCad” para ser combinadas con archivos en formato “.shp” propios del “ArcView”.

Por último solo nos queda el activar la capa generada, figura 5.19, y convertir este archivo en formato “.shp”, la forma de lograr esto es primeramente seleccionar la capa, enseguida debemos de irnos al menú “Them” y en este seleccionar “Convert to Shapefile”, al instante se nos abrirá una ventana en la cual podemos seleccionar la ruta para aguardar el archivo, así como escoger el nombre de este, al aceptar la dirección y el nombre nos aparecerá otra ventana, la cual si la aceptamos nos generara una capa con el archivo en formato “.shp” recién formado, figura 5.20.

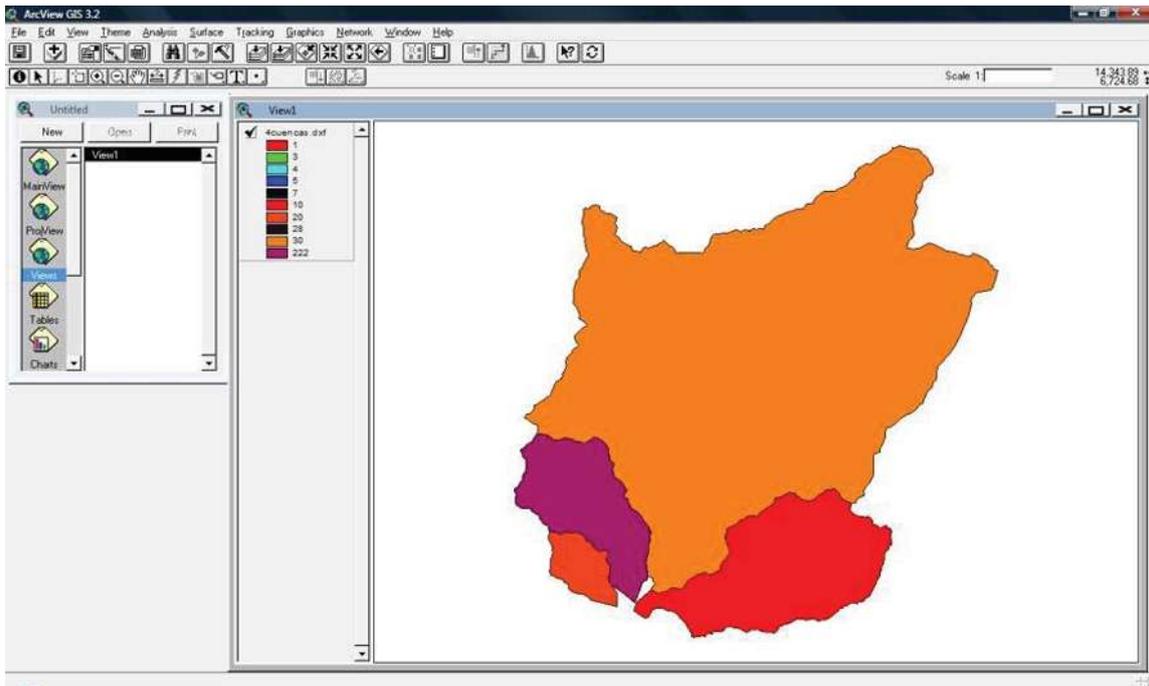


Figura 5.19, Cuencas en estudio, estas a la vez nos muestran la forma de la cuenca general.

En la figura 5.19, se observan más fácilmente las diversas cuencas existentes, aprovechando esto, se darán a conocer los nombres de cada cuenca que se les designo para este estudio.

- 1.- El nombre de la cuenca más grande, encontrada en la figura en color amarillo, fue designada como “Cuenca Rio Grande”, teniendo una área de 232224260.7536 m² o 232.2242608 km² con un perímetro de 81744.3932 m.
- 2.- La cuenca que le sigue en tamaño, se puede ver en la figura en color rojo, fue designada como “Cuenca Rio Apamila”, con una área de 44743114.9183 m² o 44.7431149183 km² y con un perímetro de 33279.9546 m.
- 3.- La cuenca que le sigue a la cuenca dos en tamaño, de color morado en la figura, fue designada con el nombre de “Cuenca Rio Chiquito”, su área es correspondiente a 25180968.7059 m² o 25.1809687059 km² y un perímetro de 24571.9760m.

4.- Por último, la cuenca más pequeña encontrada en la figura con un color naranja, fue designada con el nombre de “Cuenca Arroyo las Ánimas”, teniendo una área de 6920951.6522 m² o 6. 9209516522 km² y su perímetro de 11718.4474 m.

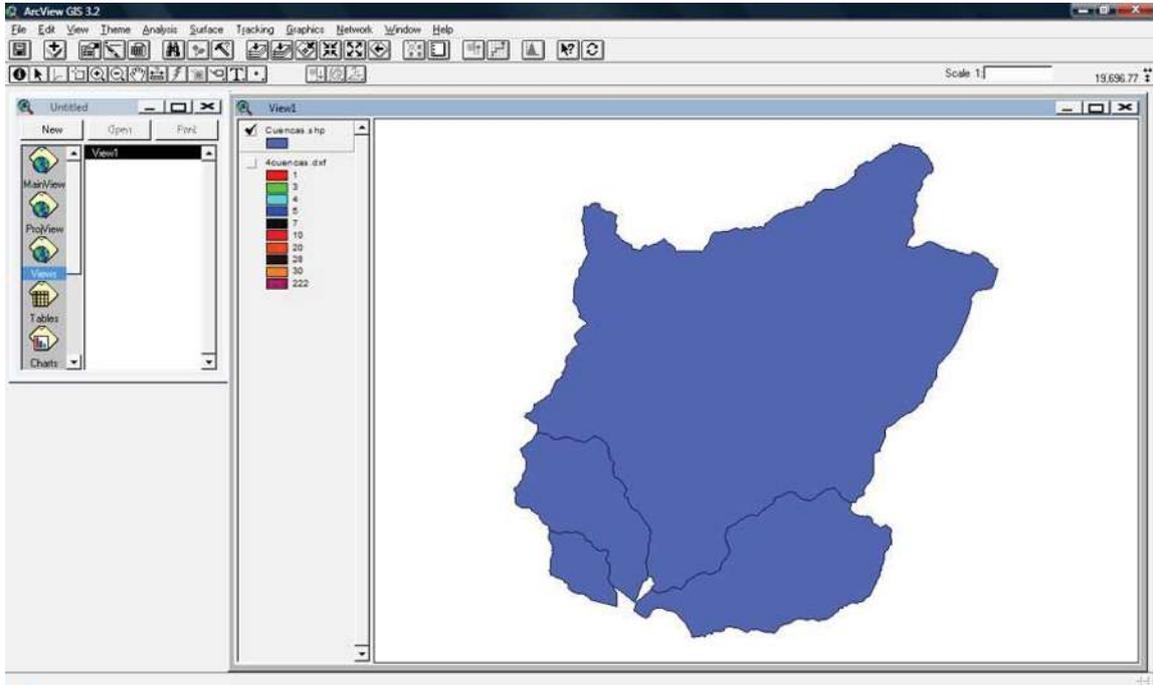
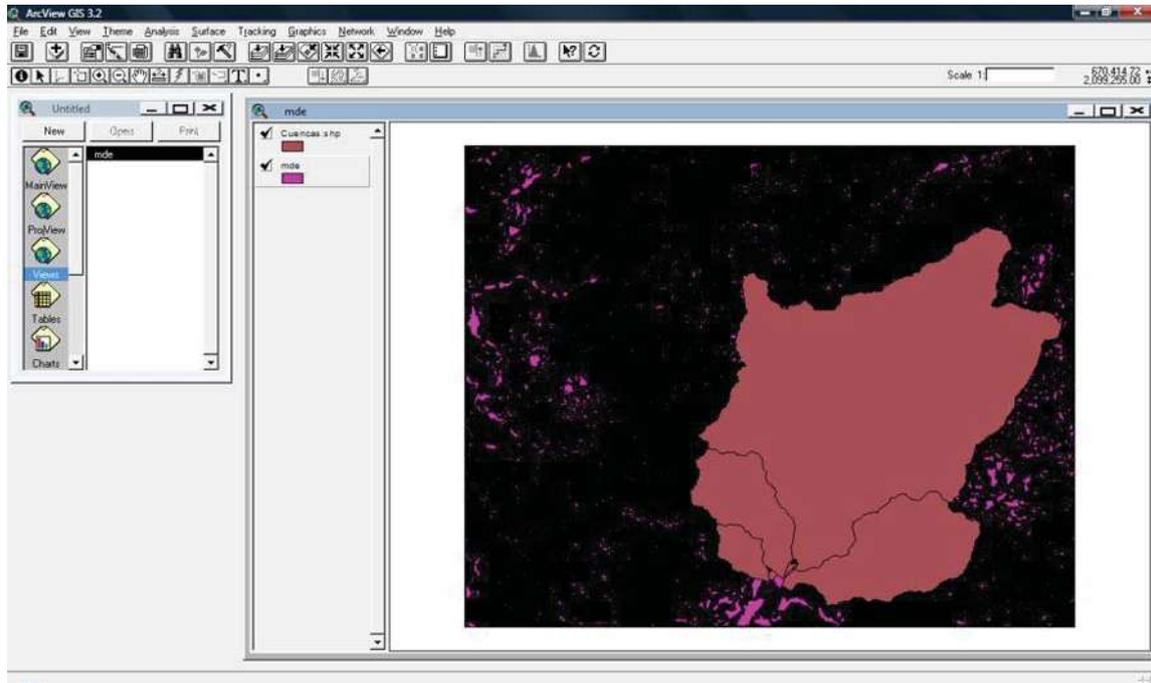


Figura 5.20, Resultado de la conversión de un archivo en formato “.dxf” a un archivo en formato “.shp”.

Una vez obtenida la cuenca en formato “.shp”, es necesario abrir la capa del MDE en formato “.shp” si es que no se tiene abierta, debemos de acomodar las capas de manera que se pueda observar la más pequeña sobre la más grande, esto se puede hacer gracias a que “ArcView 3.2” nos permite arrastrar las capas (Temas) hacia arriba o hacia abajo, con solo dar un clic izquierdo sobre la capa a mover y no soltar hasta tener la capa donde deseamos.



5.21, Muestra las capas acomodadas de tal forma que nos permite visualizar ambas.

En ocasiones se deseara eliminar capas generadas con anterioridad que ya cumplieron con su función y por el momento no son necesarias, la forma de retirarlas de la vista es la siguiente, seleccionamos la capa a retirar, enseguida en el menú "Edit" seleccionamos "Delete Themes", la ventana que nos aparece nos da tres opciones, la primera "Yes to All" es cuando se han elegido varias capas y se está seguro de retirar o remover todas las capas de la vista, la forma de elegir varias capas es simplemente apretando la tecla "Shift" y elegir las capas con clic izquierdo, la segunda opción "Yes" es para si deseamos eliminar de la vista una capa, en el caso de que se hubieran elegido más de una capa y se utilice esta opción, la eliminación que se realiza será capa por capa preguntando cada vez que elimine una capa si se desea eliminar la capa siguiente, y por ultimo nos da la opción de cancelar con un "No".

Se prosigue a hacer el corte de la cuenca a estudiar sobre el MDE, nos vamos a la pestaña de "View – GeoProcessing Wizard", en ocasiones esta opción no aparece, esto es debido a que no está habilitada o encendida la extensión, para hacer esto nos vamos al menú "File" y enseguida a "extensions", en la ventana que aparece se busca y se habilita la opción, si no aparece es que no se ha instalado la extensión de "ArcView" que la contiene, figura 5.22.

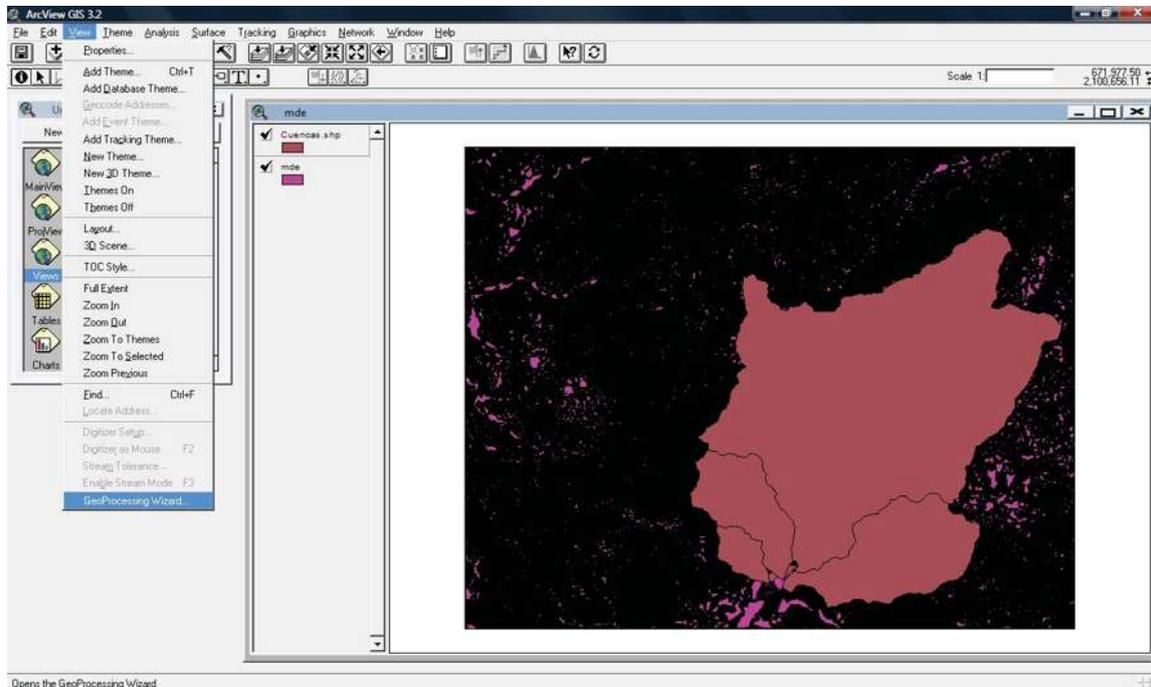


Figura 5.22, La pestaña “View” nos muestra la opción “GeoProcessing Wizard”.

Nos mostrara una ventana con las diferentes opciones que hay dentro del “GeoProcessing Wizard”, para nuestro caso seleccionaremos la opción de “Clip one theme based on another” y presionamos “Next”, esta operación es muy útil y se usa constantemente, es el equivalente a recortar un mapa de papel con unas tijeras, teniendo una figura de base, de modo que nos quedamos con la zona a la cual nos interesa estudiar, esta es la figura de base pero con los datos del recorte. Funciona sobre temas de puntos, líneas o polígonos. La capa que define la zona de corte ha de ser de polígonos, figura 5.23.

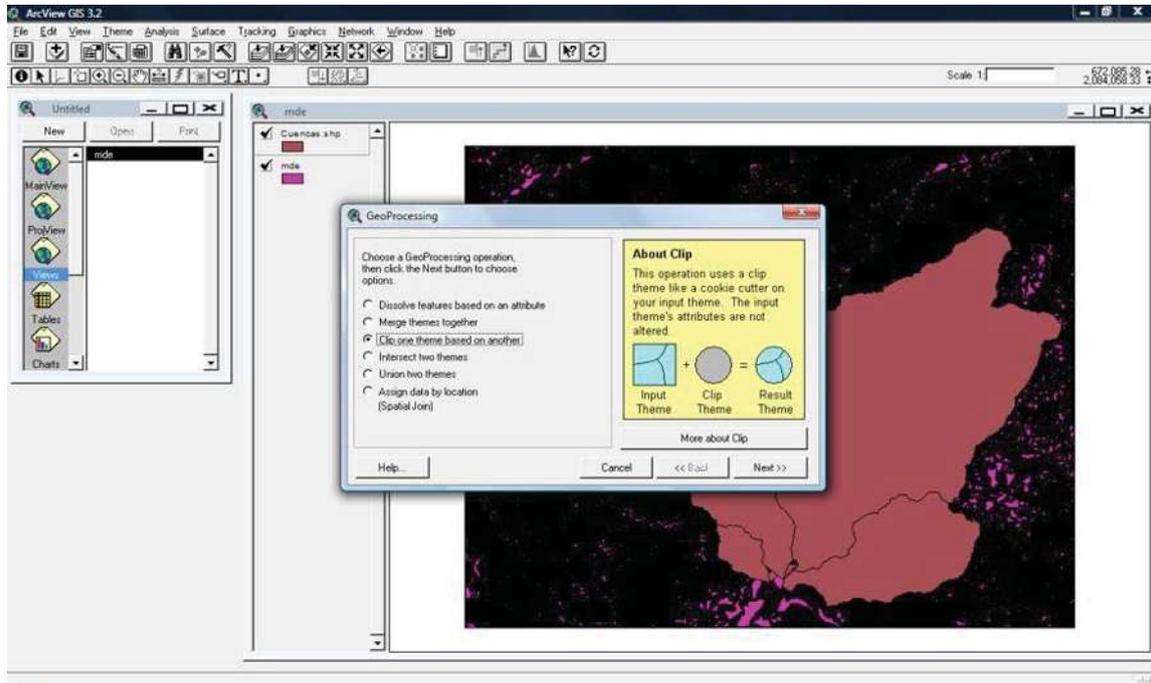


Figura 5.23, Ventana en la que se encuentra la opción anteriormente mencionada.

En la siguiente ventana se colocara como primera opción el tema que queremos cortar y como segundo tema el que vayamos a cortar de él (figura de base), como primer tema seleccionamos el MDE y como segundo tema seleccionamos la cuenca, ambos en formato “.shp” para que sea correcta la ejecución, si alguno de los temas no está en formato “.shp” es posible que la opción del “GeoProcessing Wizard” no se active, otra cosa seria que nos mostrara un mapa o corte muy raro, en la parte inferior se tendrá un icono en forma de carpeta, a este se le dará clic para aparecer una ventana en donde se dará la dirección para guardar el archivo, es recomendable verificar lo anteriormente realizado antes de presionar “Next”, debido a que el proceso puede tardar varios minutos e incluso horas, todo depende del tamaño de la cuenca, el resultado lo podemos observar en la figura 5.24.

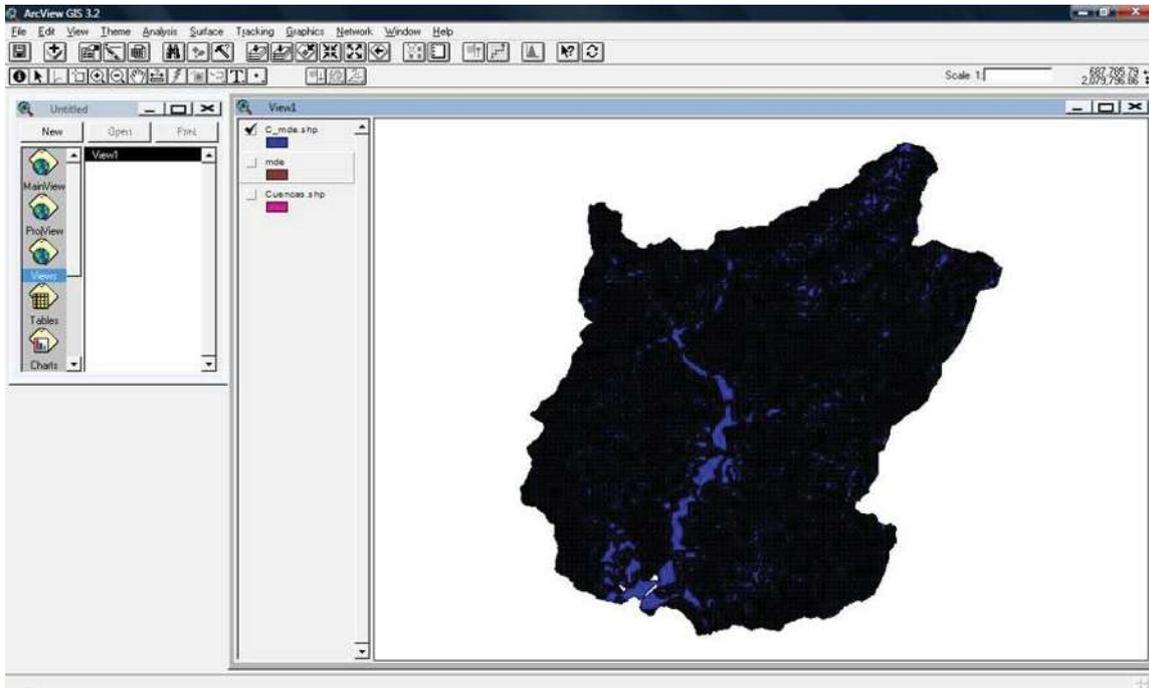


Figura 5.24, Resultado del corte del MDE de la cuenca trazada a mano.

B) CUENCA TRAZADA AUTOMATICAMENTE.

El procedimiento para la obtención de la cuenca automáticamente se verá como ya se menciono anteriormente en el capítulo “5.1.4 mapas de cuencas”.

Lo primero que realizamos es llamar el mapa generado anteriormente en forma automática, enseguida llamaremos al MDE en formato “.shp” y se realizara el corte de la misma manera como en el del trazo a mano, nuestro resultado será el mostrado en la figura 5.25.

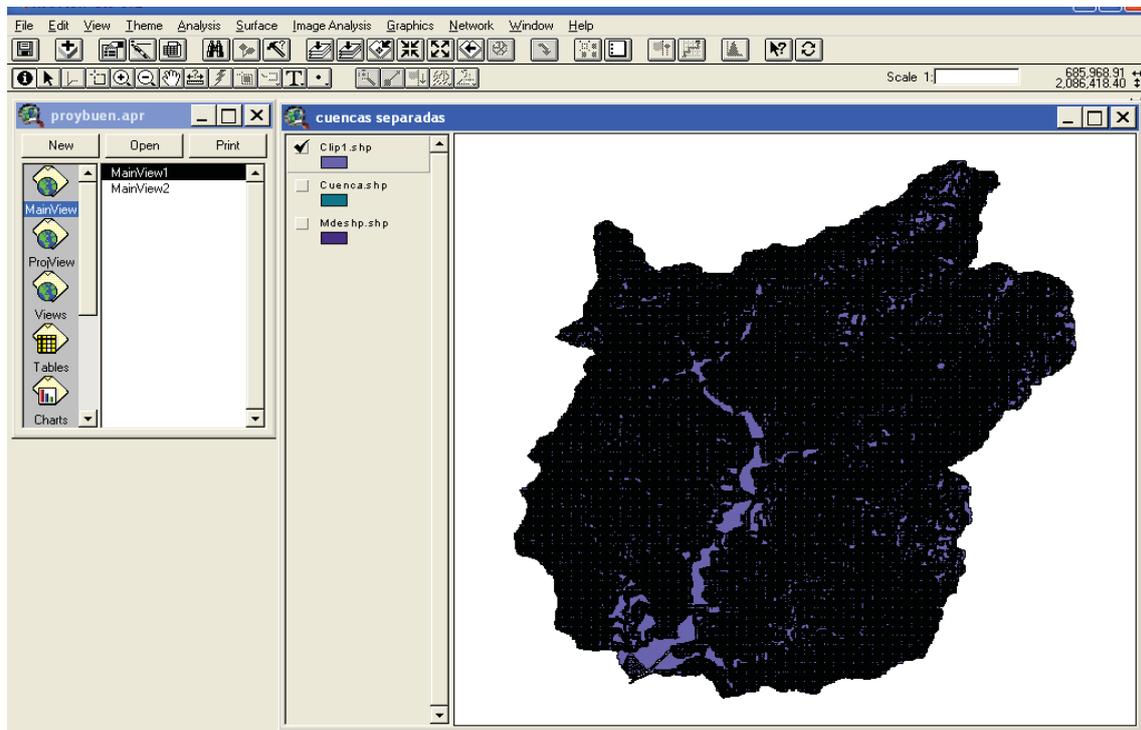


Figura 5.25, muestra solo la parte del MDE que nos interesa estudiar, el recorte se genero con la cuenca general trazada automáticamente.

En ocasiones es necesario modificar el nombre del archivo por diversas razones, en la figura 5.25, el mapa aparece con el nombre de “Clip1.shp”, haremos el cambio de nombre para más adelante saber a qué mapas debemos de llamar para realizar el procedimiento correspondiente.

Para el cambio de nombre nos vamos a la ventana de “Theme – Properties”, figura 5.26.

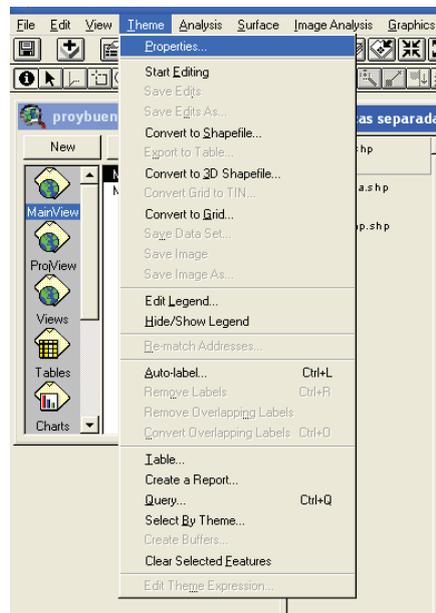


Figura 5.26, Pestaña “Theme” con la opción Properties.

Nos aparece otra ventana y cambiamos el nombre de “Clip 1” y ponemos “cuenca”, presionamos “Ok”, figura 5.27, en la ventana principal del proyecto que se está realizando nos aparecerá el nombre que le hemos dado al mapa seleccionado.

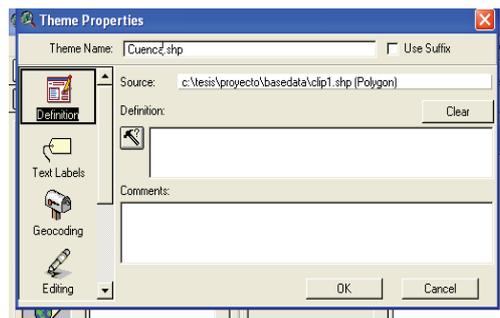


Figura 5.27, Ventana para realizar el cambio de nombre.

V.1.1.2 MAPA DE PENDIENTES DE LA CUENCA USANDO MDE

A) CON EXTENSION HEC-GEO HMS

Para comenzar a hacer el desarrollo de nuestro Estudio Hidrológico es necesario activar la extensión de “Hec-GeoHMS 1.1”, esto se hace en “File – Extensions”, activamos la opción de “Hec-GeoHMS 1.1” (figura 5.28).

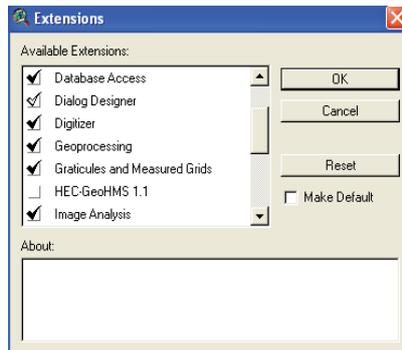


Figura 5.28, Muestra la extensión “Hec-GeoHMS 1.1” para “Arcview3.2”.

El “Hec-GeoHMS 1.1” al ser activado nos mostrará en la ventana de la parte izquierda “untitled” dos iconos más, el de “MainView” y “ProjView”, figura 5.29, nosotros utilizaremos el “MainView” donde encontraremos varios mapas que utilizaremos más adelante.



Figura 5.29, Se observa la ventana “Untitled” en la se encuentran las dos opciones “MainView” y “ProjView” en forma de iconos.

Seleccionamos la opción de “MainView” y hacemos doble clic o hacemos un “click” en el botón “New” y nos mostrara una nueva ventana, figura 5.30, este procedimiento es el mismo utilizado para la creación de una “View”, pero con el icono diferente.

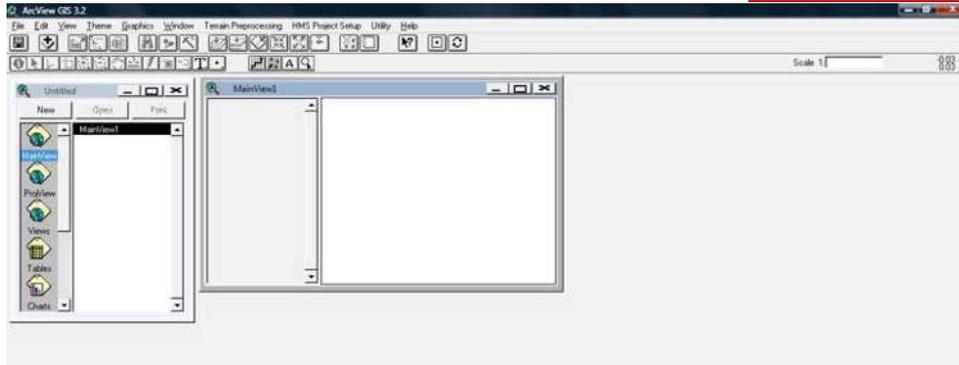


Figura 5.30, Ventana “MainView” generada con la extensión “Hec-GeoHMS 1.1”.

En la ventana “MainView” generada llamamos al MDE en formato “Grid” y que guardamos en la carpeta creada en “C”, para comenzar hacer uso del MDE y de la herramienta “Hec-GeoHMS 1.1”, Para poder ver el MDE en formato “Grid” en la extensión de “Hec-GeoHMS 1.1” al llamarlo nos aparece la ventana para buscar el mapa en el directorio donde lo hayamos guardado y seleccionamos en la pestaña de “Data Source Types” la opción “Grid Data Source” esta opción nos mostrara todos los mapas que hemos guardado en formato “Grid”, figura 5.31.

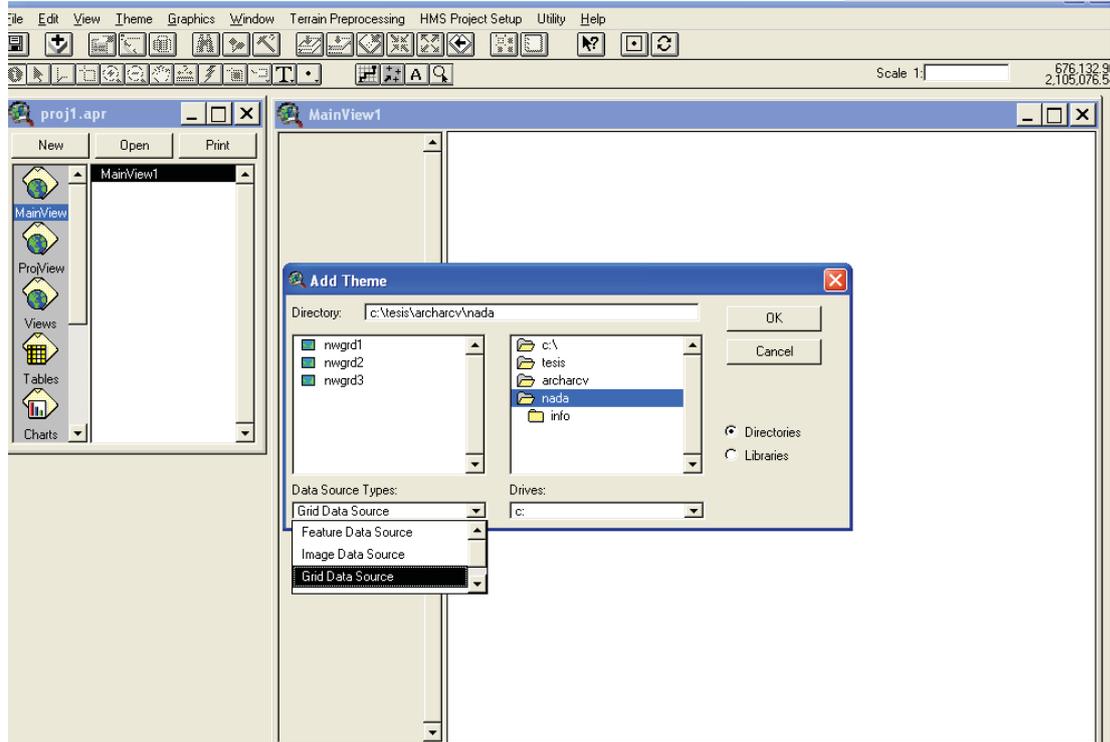


Figura 5.31, Muestra la manera de localizar el archivo en formato “Grid”.

Seleccionamos el mapa que guardamos al convertir el MDE en formato “Grid” y presionamos “OK” y nos mostrara el MDE en formato “Grid” en la ventana de “MainView”, figura 5.32.

Otra manera de realizar este procedimiento es seleccionar el “Grid” que tenemos en la ventana de “View”, en caso de que este archivo este abierto en dicha ventana, enseguida nos vamos al menú “Edit” y seleccionamos “Copy Themes”, una vez realizado lo anterior nos vamos a la ventana de “MainView”, estando en ésta, damos clic en el menú “Edit” y seleccionamos “Paste”, el resultado será el mismo que en la figura 5.32.

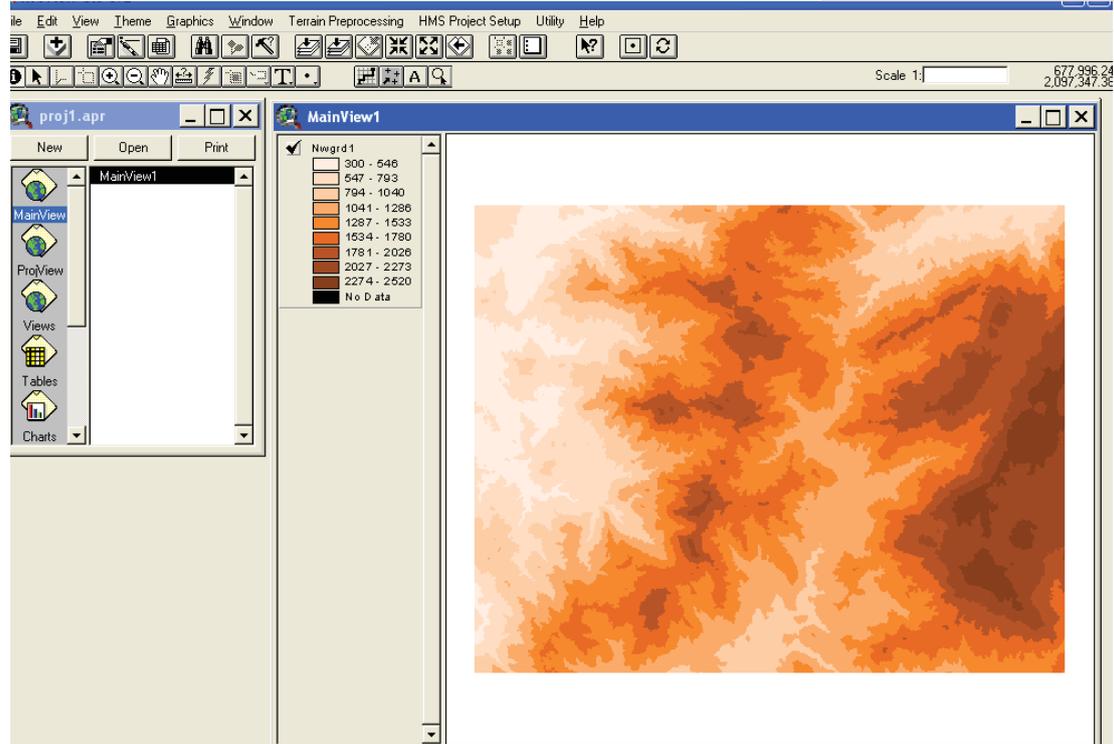


Figura 5.32, MDE en formato “Grid” en la ventana de “MainView”.

Ya estando en la ventana de “MainView”, es importante guardar el mapa con unidades para la obtención de mapas futuros, para hacer esto posible nos vamos a la pestaña de “View – Properties”, figura 5.33.

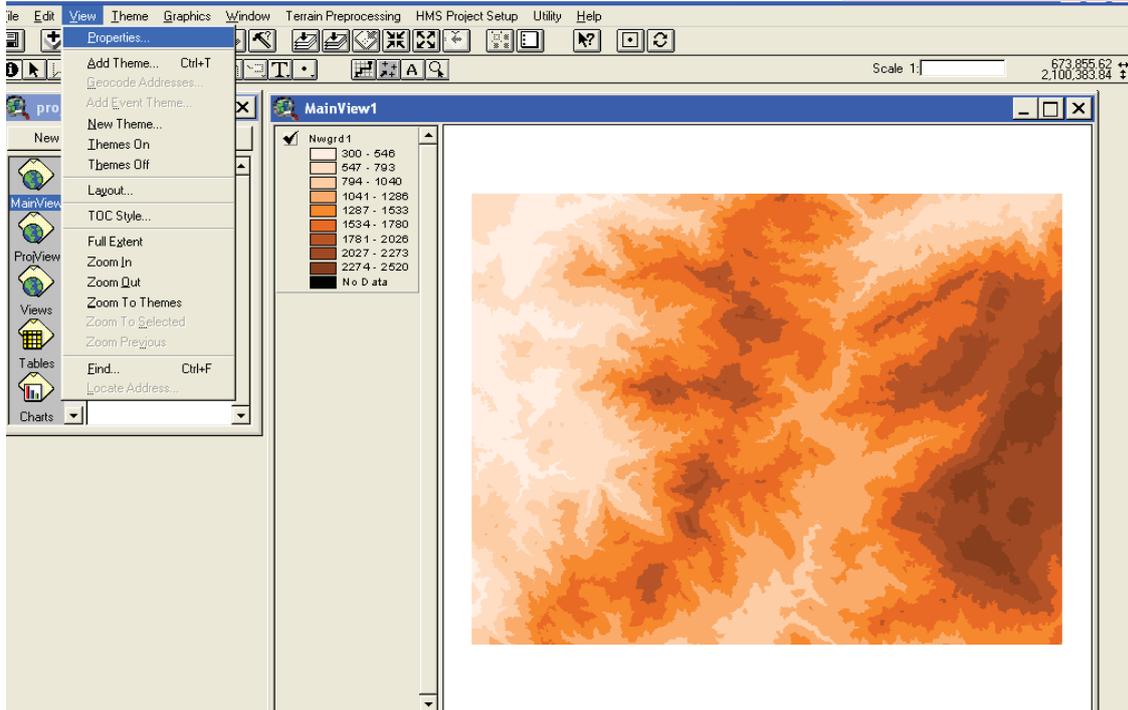


Figura 5.33, Pestaña “View” mostrando la opción de “Properties”.

Mostrada la ventana de “View – Properties” se selecciona el mapa de unidades en metros y las unidades de distancia en kilómetros, estas unidades son las más utilizadas para este tipo de MDE, también se pueden utilizar ambas en metros, las unidades ya dependen de cada persona o proyecto que se desea realizar, damos “OK”, figura 5.34, enseguida debemos de guardar el proyecto, esto se realiza de la siguiente manera: nos vamos al menú “File” y en este a la opción “Save Project As...”, enseguida nos aparecerá una ventana en la cual damos la dirección donde será guardado el proyecto, así como la selección del nombre del proyecto.

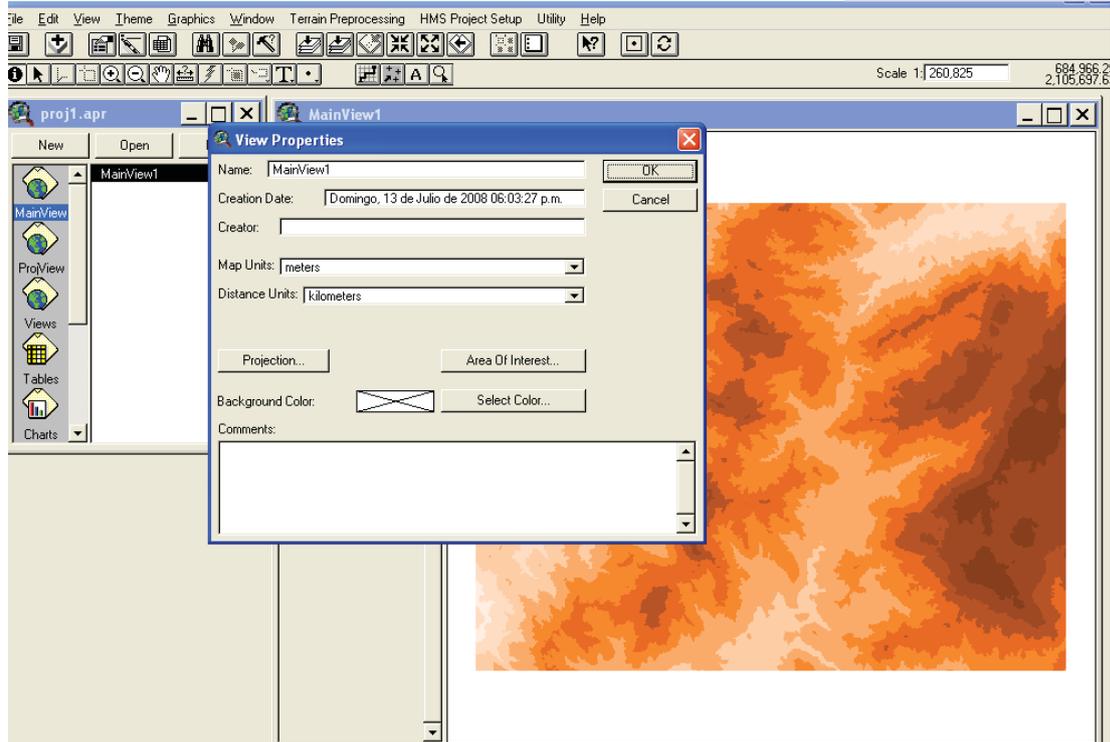


Figura 5.34, Ventana de “View - Properties”, en la cual ya se encuentran colocadas las unidades.

El siguiente paso es obtener el mapa de pendientes, para la obtención de este mapa se puede hacer de dos formas diferentes:

- 1.- Una es con la extensión “Hec-GeoHMS 1.1”, en la ventana de “MainView”.
- 2.- La otra forma es desarrollada en la ventana “View”.

Para nuestro primer caso, se selecciona en la parte izquierda de la ventana de “MainView” el MDE en formato “Grid” y nos vamos a la pestaña en la parte superior del programa a “Terrain Preprocessing – Fill Sinks”, figura 5.35.

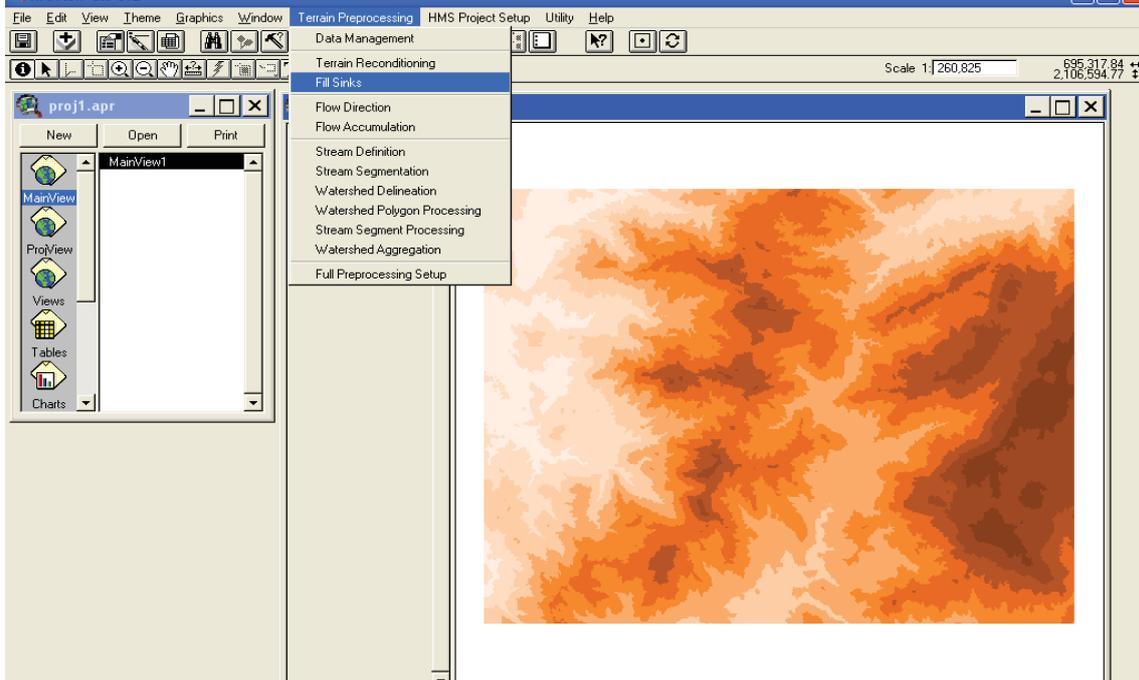


Figura 5.35, Pestaña de “Terrain Preprocessing” mostrando la opción “DEM Filling Sinks Operations”.

Siguiente a este paso aparece una ventana en donde se encuentran dos pestañas una de “RawDEM” la cual nos muestra el nombre del mapa para el cual se va hacer el proceso, aquí se puede cambiar el mapa en caso de que no haya aparecido el deseado, y en “HidroDEM” nos muestra un nombre por default, este es “fillgrid” el cual se dejo para este caso, dicho nombre lo podemos cambiar o dejar depende de cómo se acomode la persona que está utilizando el programa, figura 5.36.

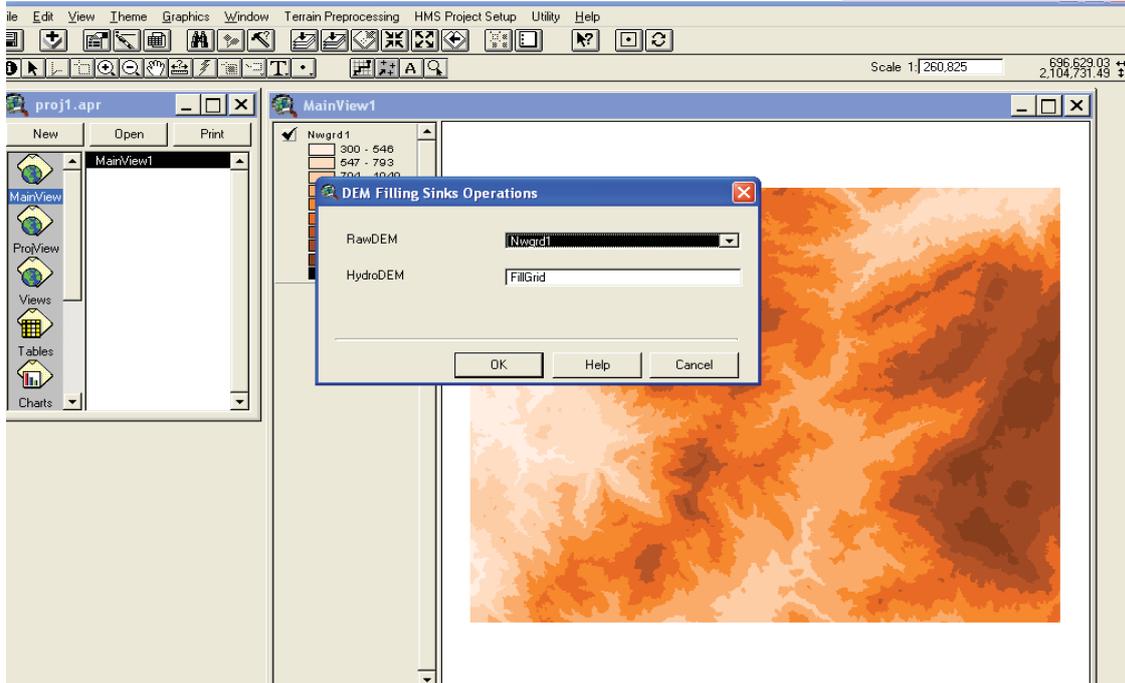


Figura 5.36, muestra la ventana “DEM Filling Sinks Operations”, en la cual aparece el nombre del “Grid” y el nombre que tendrá el archivo.

El “fillgrid” que nos muestra el paso anterior es otro mapa similar al MDE en formato “Grid”, la diferencia es que fue convertido con la extensión de “Hec-GeoHMS 1.1” y será utilizado dentro de la extensión de “Hec-GeoHMS1.1”, Figura 5.37.

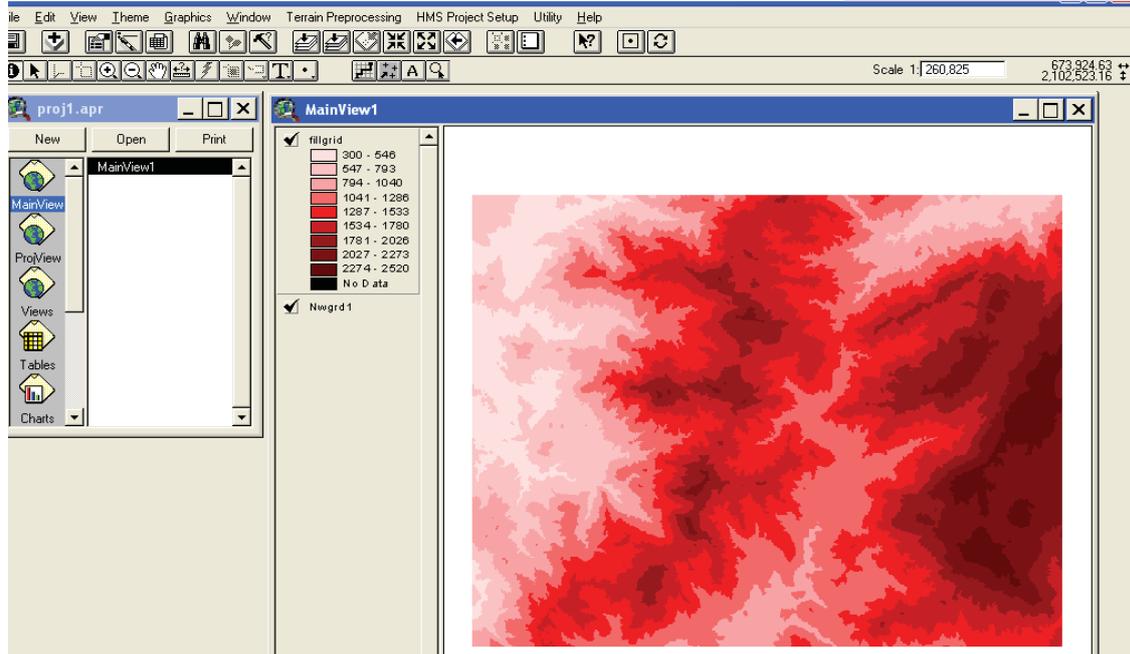


Figura 5.37, Resultado de la ventana “DEM Filling Sinks Operations”.

Vamos a la pestaña de “Terrain Preprocessing – Flow direction”, este procedimiento se realiza teniendo seleccionado el archivo anteriormente generado, figura 5.38.

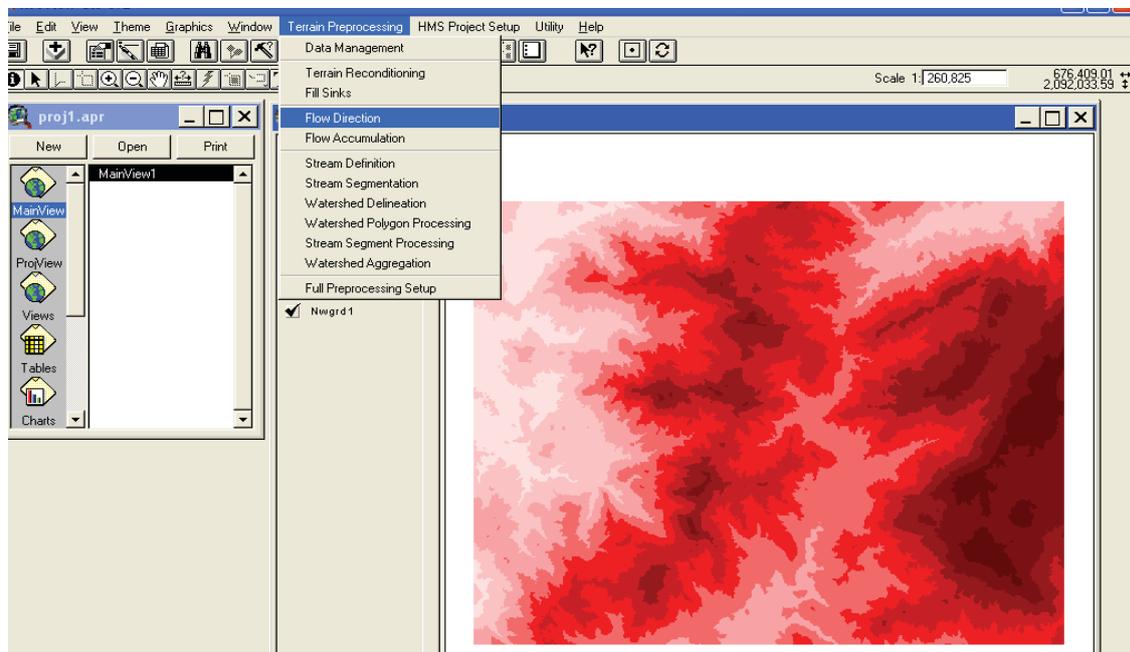


Figura 5.38, Pestaña de “Terrain Preprocessing” mostrando la opción de “Flow Direction Computation”.

La siguiente ventana que nos aparece nos muestra el nombre del mapa utilizado para obtener el “mapa de pendientes” y nos aparece una segunda opción, ésta por default nos da un nombre, este va relacionado con la opción seleccionada en la pestaña de “Terrain Preprocessing”, este nombre puede ser modificado, pero en nuestro caso se dejó el mismo nombre, se presiona OK, figura 5.39.

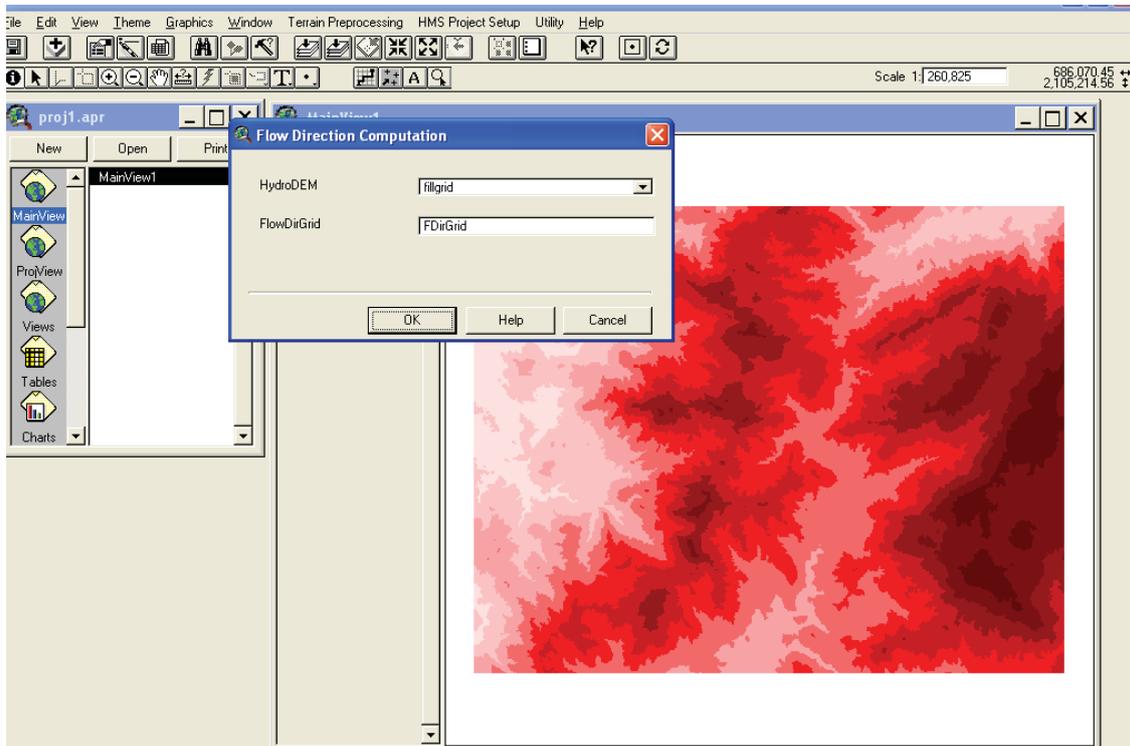


Figura 5.39, Ventana “Flow Direction Computation”, mostrando los dos nombres de los archivos, es decir, el archivo del que se deriva este nuevo y el nombre que tendrá este archivo.

Realizado el procedimiento anterior, el resultado será el mapa de pendientes, figura 5.40.

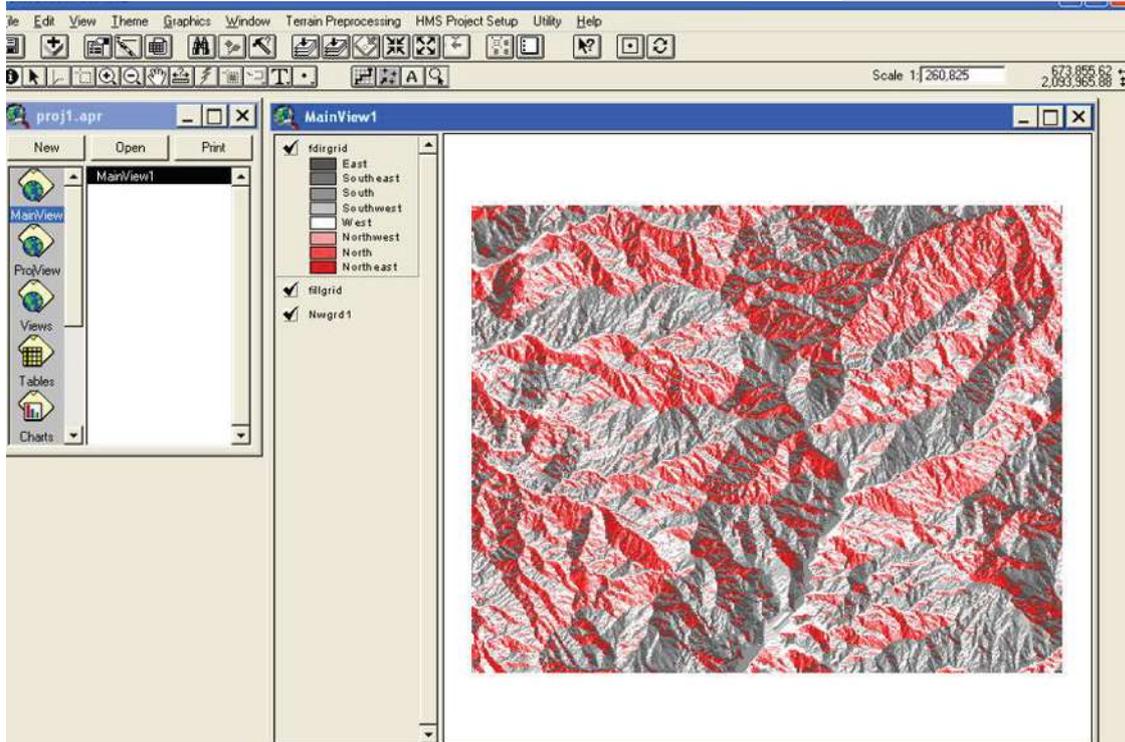


Figura 5.40, Mapa de pendientes con el primer procedimiento.

B) CON EXTENSION 3D ANALYST

En cuanto a la segunda opción, como ya se menciona anteriormente se realizara en la ventana de "View".

Se selecciona el MDE en formato "Grid" en la ventana "View" y se va al menú de "Surface – Derive Slope", figura 5.41, y obtenemos el mapa de pendientes, Figura 5.42.

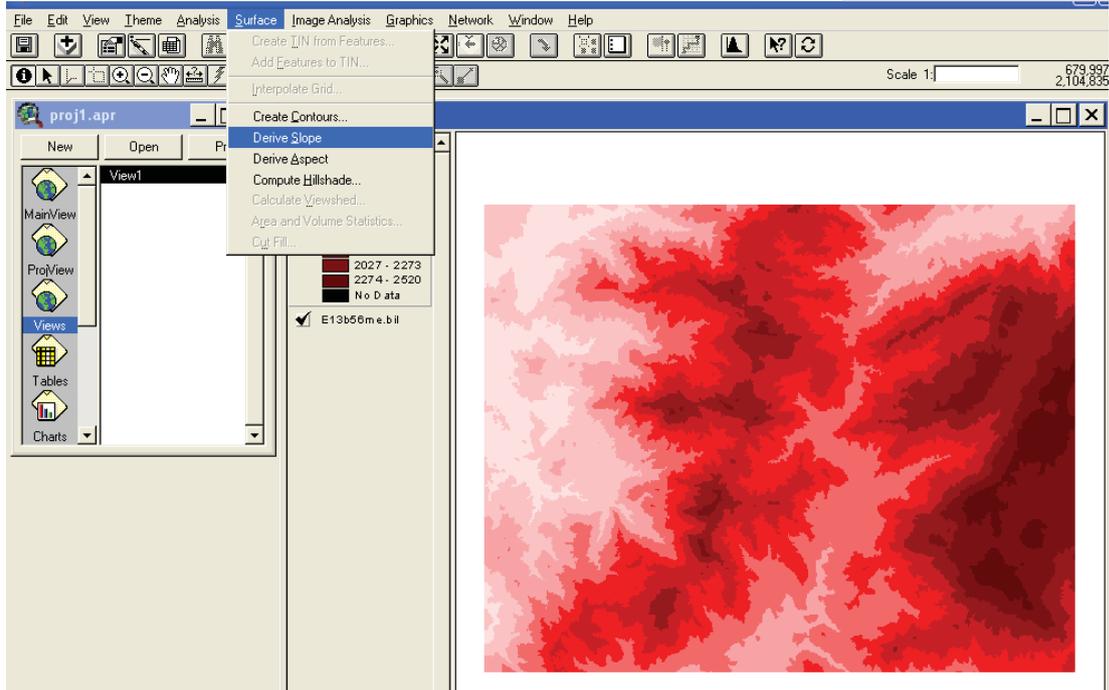


Figura 5.41, Pestaña de “Surface” mostrando la opción “Derive Slope” en la ventana de “View”.

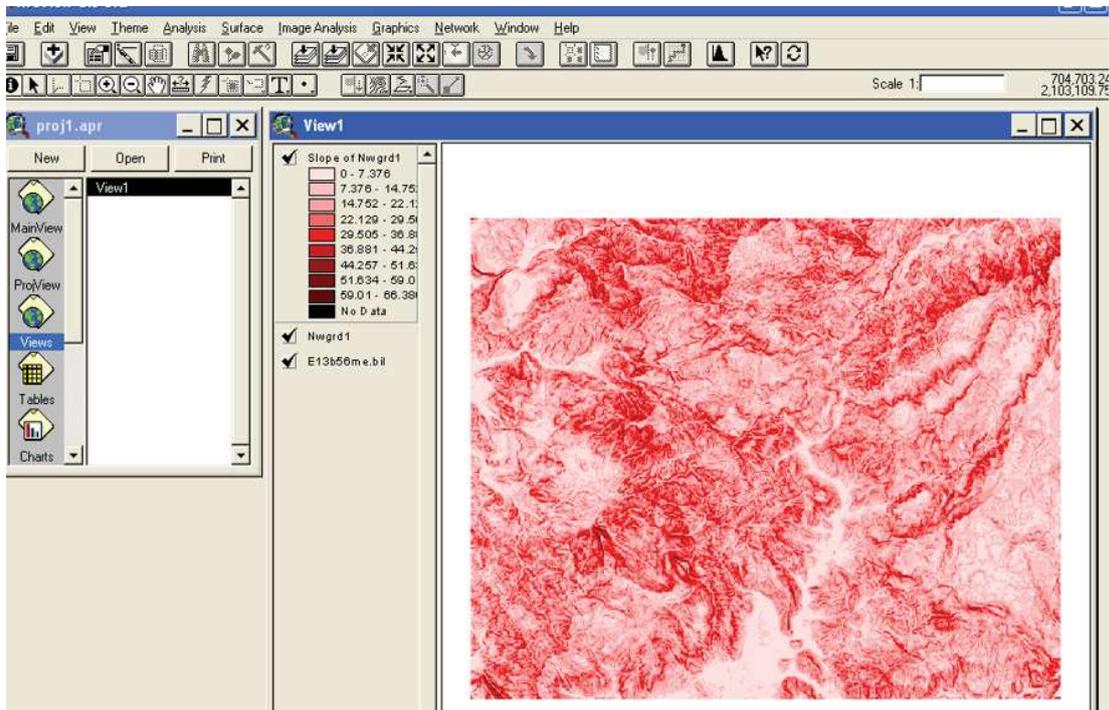


Figura 5.42, Resultado de la operación anterior.

C) ANALISIS DE PROCEDIMIENTOS Y OTRAS OPCIONES

Ambos mapas contienen las mismas propiedades, la diferencia es que se hacen con diferentes extensiones, pero para nuestro estudio ambos mapas son validos, es necesario trabajar solo con un mapa, en este caso se ha seleccionado el obtenido con la extensión de “Hec-GeoHMS 1.1” ya que con esa extensión es donde se encontraran los mapas necesarios para el Estudio Hidrológico, también es necesario mencionar que en estos mapas no se pueden crear cortes ni convertirse en formatos “.shp”.

Otra manera de obtener los mapas de pendientes por el primer método, es llamando el MDE recortado de las cuencas en la ventana “View”, en este caso se utilizara el mapa creado a mano, este lo debemos de convertir en “Grid”, el procedimiento es el mismo que se utilizo para la obtención de la figura 5.11, la diferencia es que en este caso nos aparecerá otra ventana al momento de aceptar, figura 5.43.

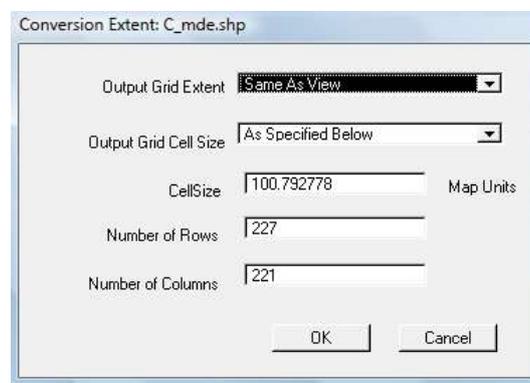


Figura 5.43, Ventana donde se dan diversas especificaciones del mapa a generar, en el primer desplegable colocamos “Same As View”.

En seguida nos aparecerá una nueva ventana, la cual definirá las propiedades con las que se generara nuestro próximo archivo, en esta ventana se seleccionara la opción “Gridcode”, en seguida se presiona en el botón “OK”, nuestro resultado será el de la figura 5.44.

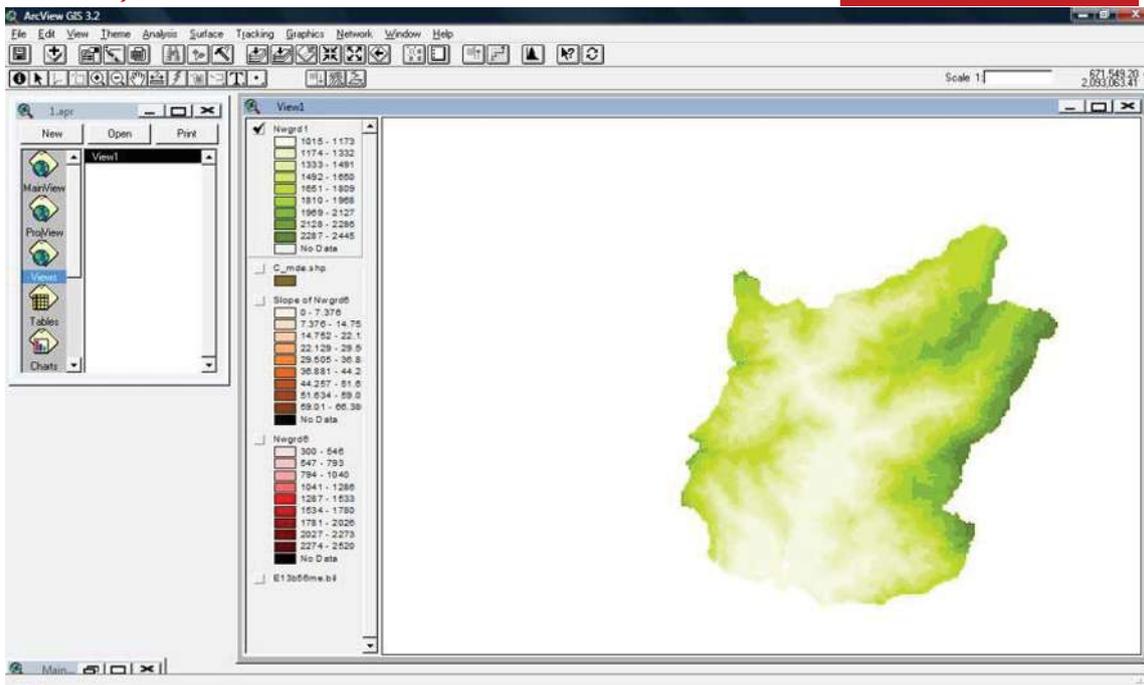


Figura 5.44, Se muestra la conversión del MDE en formato “.shp” a “Grid” de la cuenca general.

En seguida debemos de pasar el archivo en “Grid” a la ventana “MainView”, se puede utilizar cualquiera de los dos métodos antes mencionados, una vez realizado lo anterior nos dedicaremos a la obtención del mapa de pendientes, la forma de realizar esto es primeramente guardar el proyecto, esto lo realizamos en el menú “File”, enseguida seleccionamos “Save Project As...”, esta opción nos mostrara una ventana en la cual daremos la dirección donde guardaremos el proyecto y el nombre deseado de dicho proyecto, figura 5.45.

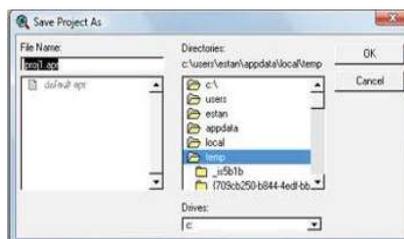


Figura 5.45, Ventana donde daremos la dirección y nombre del proyecto a guardar.

En seguida se seguirán los mismos pasos realizados para la obtención del mapa de pendientes utilizando el MDE completo, nuestro resultado será el mostrado en la figura 5.46.

El segundo método se desarrolla de la misma manera, dándonos el resultado de la figura 5.47.

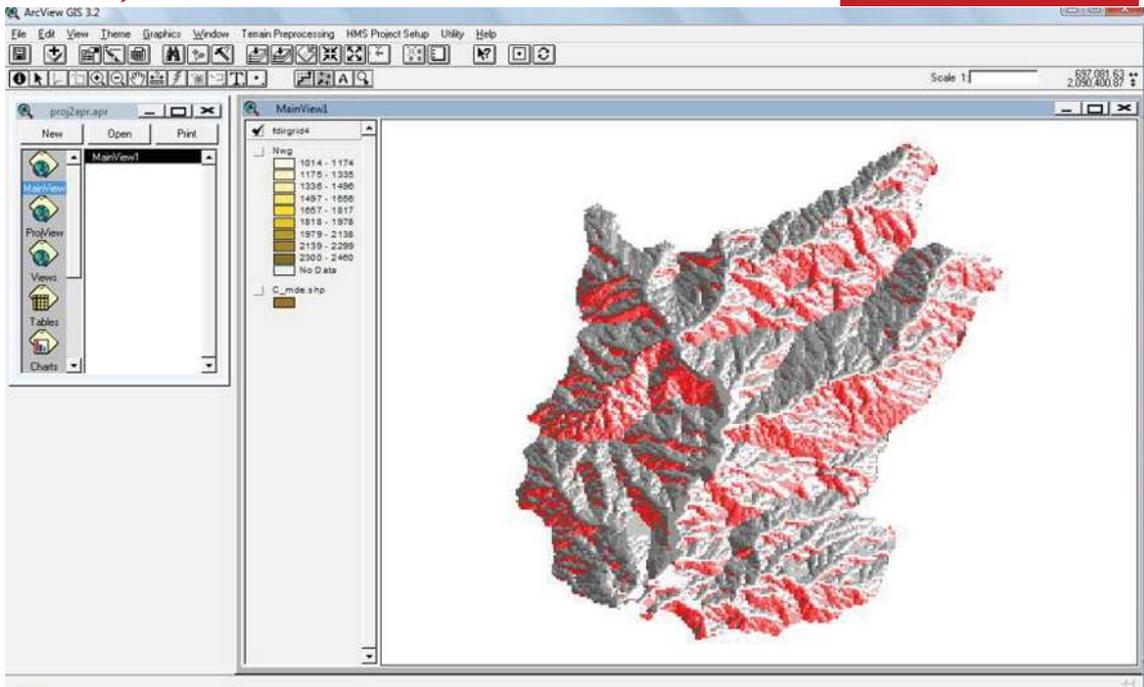


Figura 5.46, Mapa de pendientes de la cuenca a estudiar.

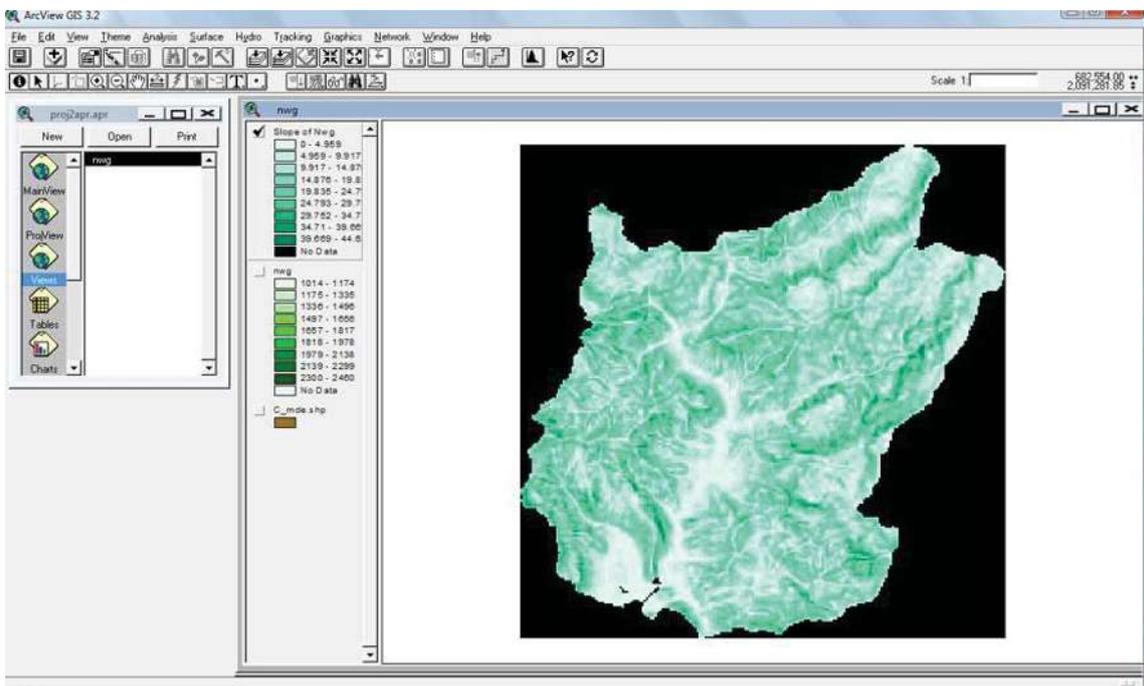


Figura 5.47, en este procedimiento solo se trabaja en el área deseada para el estudio.

Es recomendable guardar el proyecto, debido a que más adelante será utilizado para la obtención de otros mapas más.

V.1.1.3 MAPA DE CORRIENTES DE LA CUENCA USANDO MDE

Se debe de seguir en la ventana de “MainView” para la obtención del mapa de corrientes, debemos de tener seleccionado el mapa de pendientes general, anteriormente generado, se puede trabajar con el mapa trazado manualmente pero en nuestro caso no se realizara debido a la intención de obtener el mapa de la cuenca automáticamente, en seguida nos vamos al menú de “TerrainPreprocessing – Flow Accumulation”, figura 5.48, y nos mostrará otra ventana la cual nos pedirá un nombre para el mapa que vamos a obtener, el nombre al igual que en los anteriores casos se deja el dado por default, figura 5.49, una vez verificados los datos debemos de aceptar.

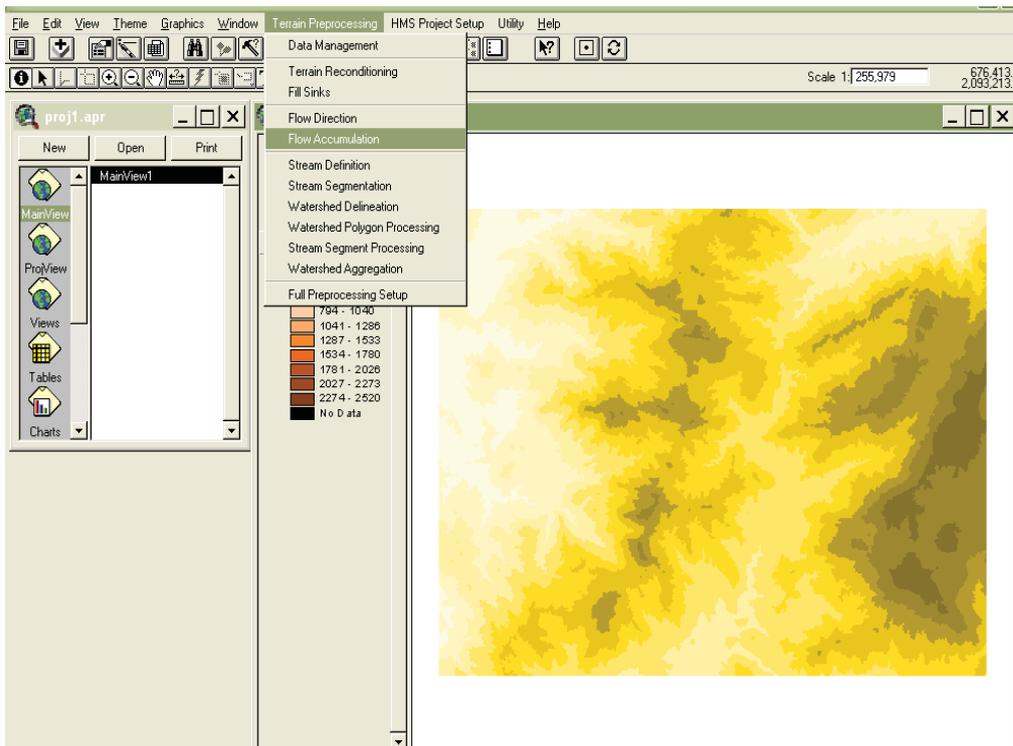


Figura 5.48, Pestaña de “Terrain Preprocessing” mostrando la opción “Flow Accumulation”.

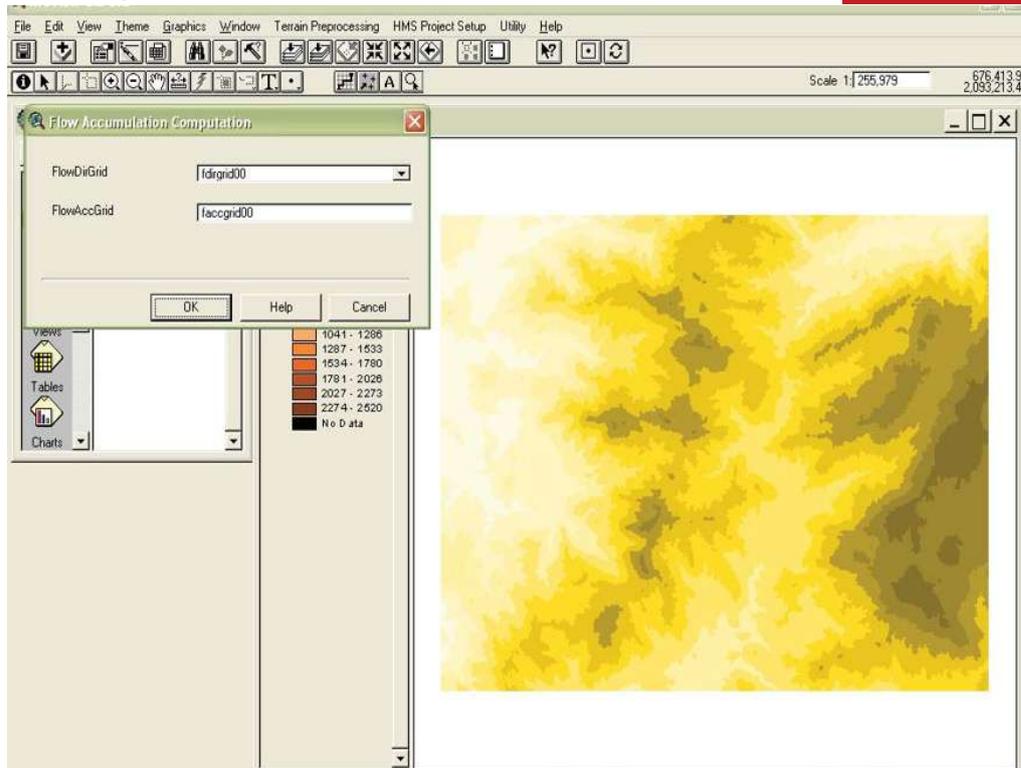


Figura 5.49, Imagen al igual que en anteriores se muestra la opción de cambiar el nombre al archivo que se va a crear.

Como resultado de los pasos anteriores obtenemos el siguiente mapa, figura 5.50.

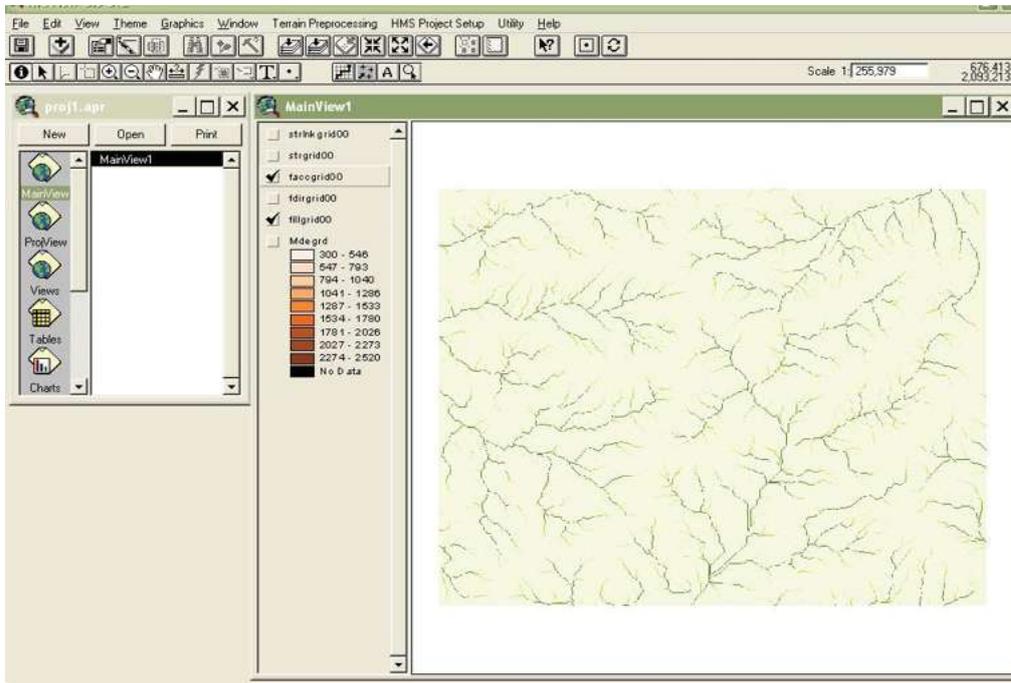


Figura 5.50, Mapa mostrando el resultado del procedimiento anterior, es decir, nos muestra el orden de las corrientes encontradas en la carta de estudio.

V.1.1.4 MAPA DE LAS CUENCAS USANDO MDE.

El siguiente mapa que obtendremos es uno de los más importantes, este mapa nos mostrará todas las cuencas existentes dentro del MDE y de este mapa se obtendrá la(s) cuenca(s) que se desean estudiar, es importante mencionar que también influye mucho el mapa de orden de corrientes, con este mapa se delimitará la cuenca general y las cuencas a estudiar.

A) USANDO EXTENSION HEC-GEOHMS, PROCEDIMIENTO POR PASOS.

La extensión “Hec-GeoHMS 1.1”, nos permite la determinación del mapa de cuencas por dos procedimientos, el primero es realizar paso a paso y el segundo nos genera todos los pasos simultáneamente, generándonos el mapa de pendientes, el de corrientes y por su puesto el de cuencas. En seguida desarrollaremos el primer método. Primeramente debemos de hacer el proceso de clasificar todas las celdas con flujo procedente de un número de celdas mayor a un umbral definido por el usuario como pertenecientes a la red de drenaje. El umbral puede especificarse como área en unidades del MDE al cuadrado o como número de celdas. El valor por defecto es del 1% de la mayor área de drenaje de toda la cuenca y cuanto menor sea el umbral, mayor será el número de subcuencas que defina “Hec-GeoHMS 1.1”.

Las unidades para la generación de este paso se pueden tener en metros o kilómetros, el cambio de unidades fue explicado anteriormente, en este caso se utilizara para “Map Units”

metros y “Distance Units” en kilómetros, las cuales eran unidades usadas anteriormente, si no se definieran las unidades, el programa no podría desarrollar el paso produciendo un error.

El procedimiento es el siguiente, nos vamos al menú “Terrain Preprocessing”, en este seleccionamos la opción “Stream Definition” y se guarda el archivo como en ocasiones pasadas, en este caso se deja el nombre dado por default, enseguida aparecerá la ventana “Stream Threshold Definition” que es donde debemos definir el umbral, para este trabajo se eligió “Area in Distance Units Squared”, en el momento que se acepta aparece otra ventana, en esta se coloca el número deseado o se deja el que aparece por default como fue en nuestro caso y presionamos “OK” para aceptar, el resultado lo podemos observar en la figura 5.51.

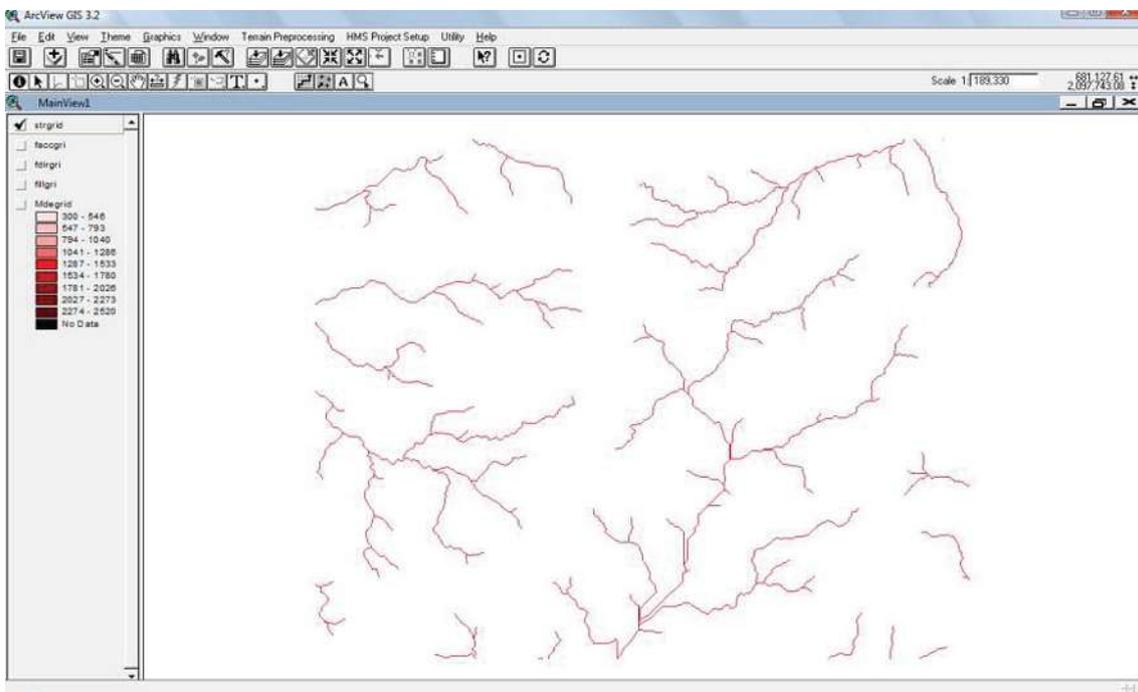


Figura 5.51, Resultado de la opción “Stream Definition”.

En seguida se debe de dividir los cauces en segmentos. Los segmentos son tramos de cauces situados entre dos uniones de cauces sucesivas, una unión y la salida o una unión y el límite de la cuenca.

El procedimiento es “Terrain Preprocessing - Stream Segmentation”, recordemos que se debe de tener seleccionada la capa anteriormente generada, esto nos abrirá una ventana donde se puede seleccionar el nombre con el que se quiera guardar el archivo, en este caso el nombre fue el que se dio por default, el resultado del procedimiento se puede observar en la figura 5.52.

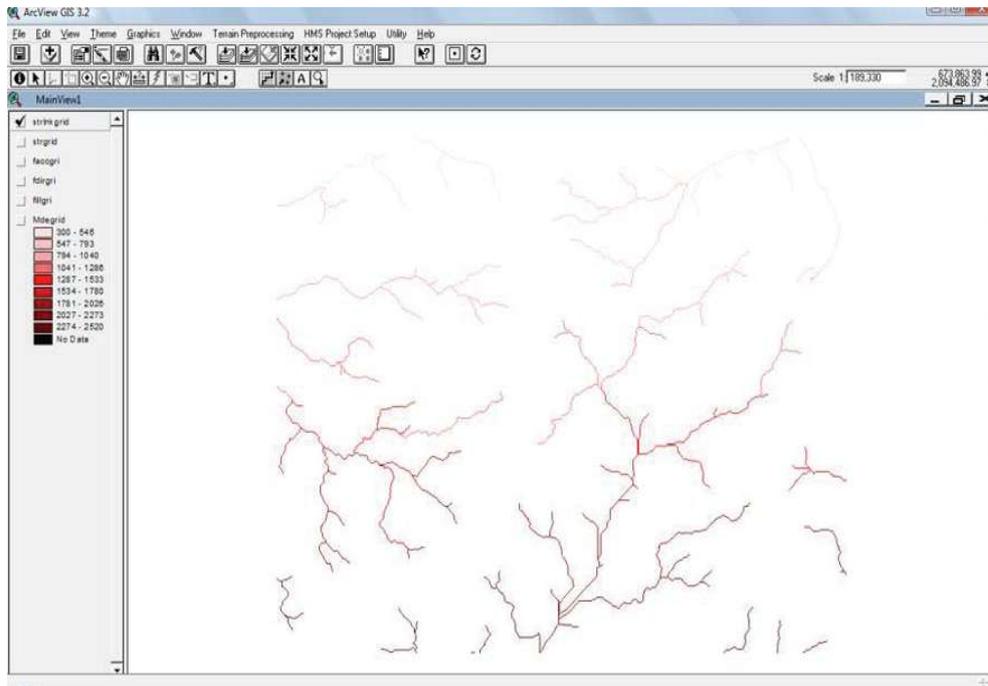


Figura 5.52, Muestra el resultado de la opción “Stream Segmentation”.

El siguiente paso a desarrollar es definir una cuenca por cada segmento de cauce.

El procedimiento a seguir es “Terrain Preprocessing - Watershed Delineation”, se debe de seleccionar la capa generada anteriormente, en la ventana que aparece, se escribe un nombre para el archivo o se deja el nombre que se da por default, como en todos los procedimientos anteriores, el nombre para nuestro es el dado por default, el resultado lo podemos observar en la figura 5.53.

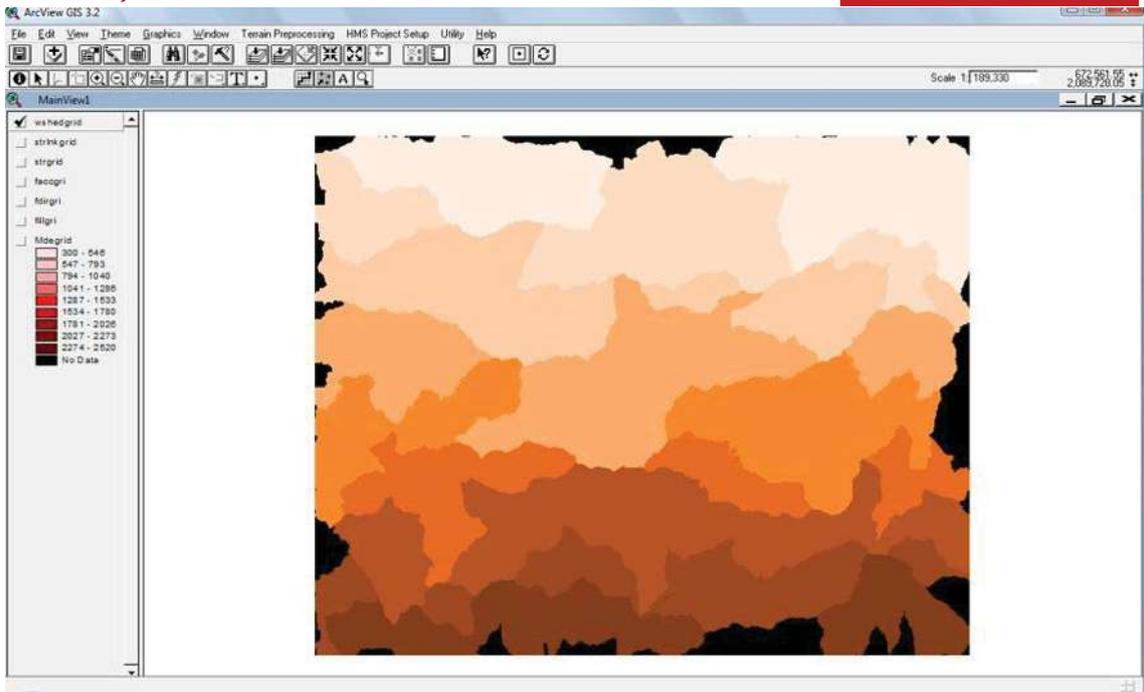


Figura 5.53, Resultado de la opción “Watershed Delineation”.

Para la obtención del mapa de cuencas nos vamos a la pestaña de “Terrain Preprocessing – Watershed Polygon Processing”, para este procedimiento se debe de tener seleccionado el archivo anteriormente generado, figura 5.54.

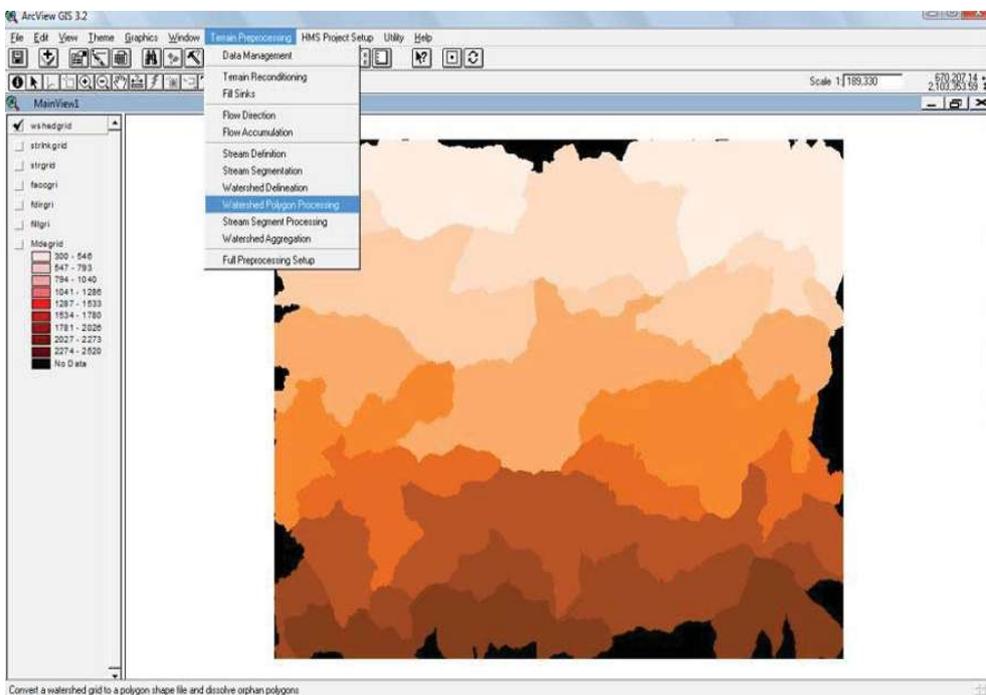


Figura 5.54, Muestra la opción para determinar el mapa de cuencas.

Siguiente a este paso, aparece una ventana la cual nos da por default el nombre del mapa que deseamos obtener, se puede cambiar el nombre si se desea y presionamos “OK”, Figura 5.55.

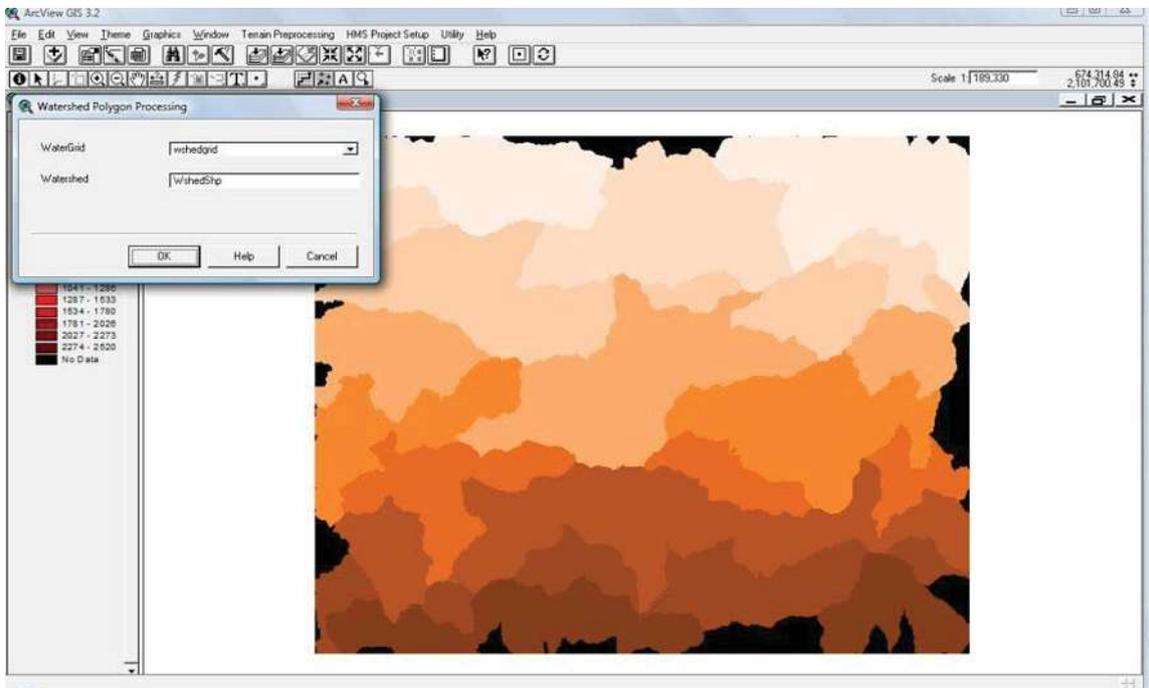


Figura 5.55. Podemos observar la ventana para la generación del mapa de cuencas.

Hechos los pasos anteriores nos aparecerá el mapa de cuencas, figura 5.56, es necesario saber cual área o cuencas son las que deseamos estudiar, para este caso el punto base es el poblado de Coalcomán.

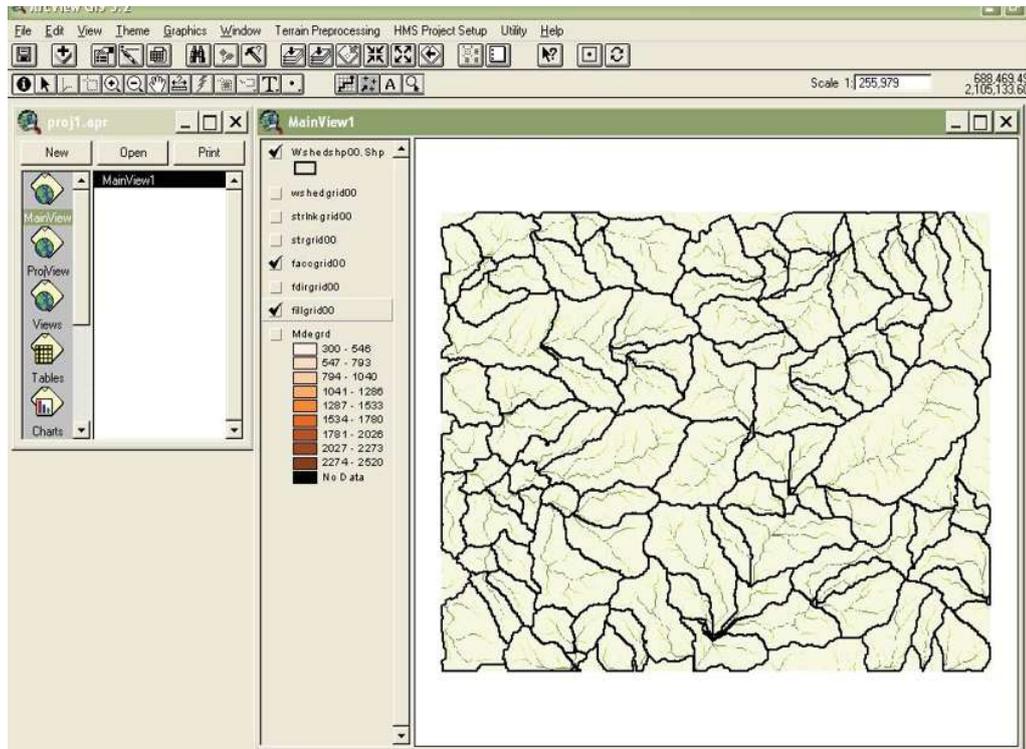


Figura 5.56, Mapa de las cuencas determinado en base a las corrientes.

Nuestro siguiente objetivo es realizar una aglutinación de cuencas, pero para realizar esto, primeramente debemos de convertir el cauce de formato “Grid” a formato vectorial, esto lo realizamos de la siguiente manera, “Terrain Preprocessing - Stream Segment Processing”, nos aparecerá una ventana en la cual podemos confirmar las entradas y el nombre con el que se guardara el archivo, aceptamos si todo está bien, enseguida aparecerá una ventana que nos pregunta si el punto mostrado es una salida de una cuenca (outlet), si lo es ingresamos 1, de lo contrario ingresamos 2. Si no lo apreciamos muy bien de qué punto se trata se puede ampliar la zona de visualización con las opciones 3 y 4. Si contestamos siempre 1, el programa definirá la cuenca vertiente a cada salida y luego podemos editar las cuencas y subcuencas que nos interesen, en este caso se selecciono 2 y el resultado se observa en la figura 5.57.

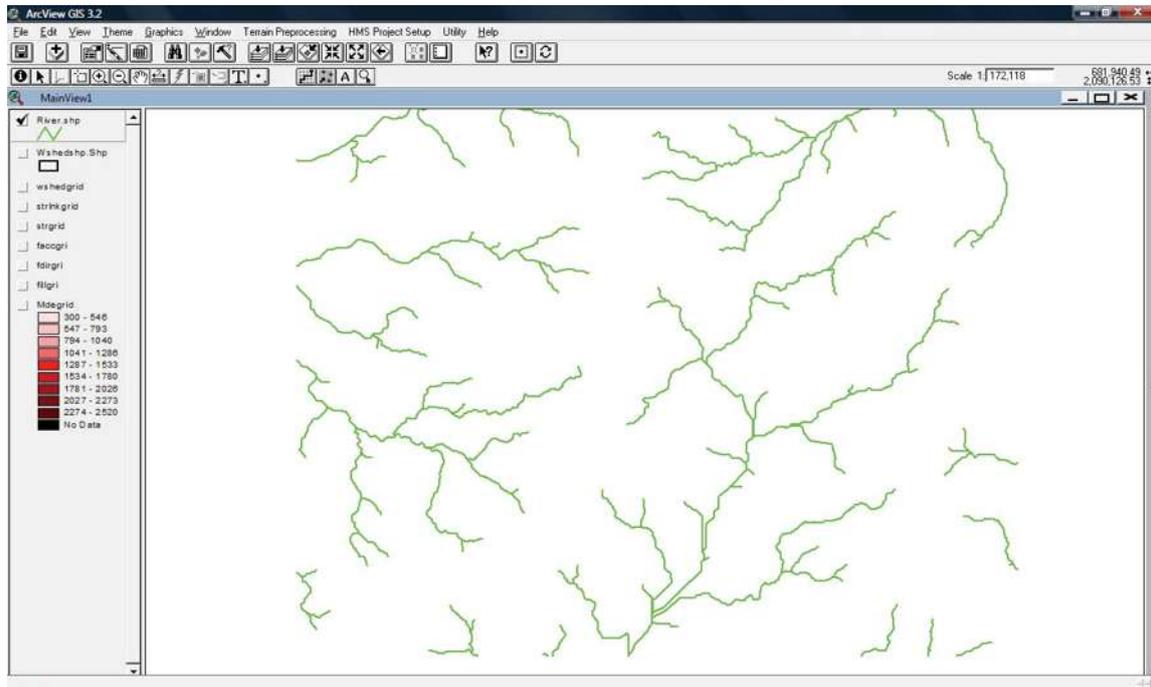


Figura 5.57, Resultado del paso anterior “Stream Segment Processing”.

Nuestro siguiente paso es aglutinar las subcuencas que vierten a cada confluencia de cauces. Este paso se realiza para mejorar la delineación de las subcuencas y la obtención de datos, el procedimiento es el siguiente, “Terrain Preprocessing - Watershed Aggregation”, en seguida se confirma la entrada y el nombre del archivo, si se acepta se da “OK”, el resultado se observa en la figura 5.58.

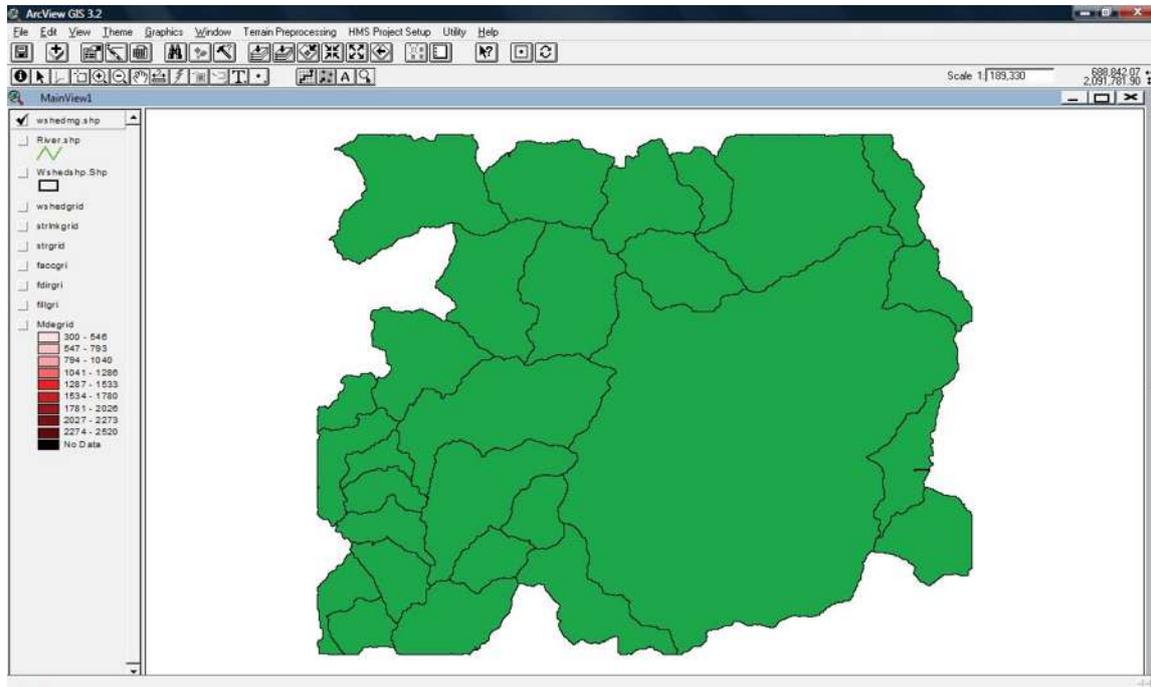


Figura 5.58, Muestra la aglomeración de cuencas.

B) USANDO EXTENSION HEC-GEOHMS, PROCEDIMIENTO RAPIDO.

A continuación desarrollaremos el segundo método, el cual puede ser más rápido para la obtención de mapas, esto siempre y cuando se entiendan los mapas a generar.

El primer paso a desarrollar es la creación de una nueva ventana de “MainView”, en esta debemos de abrir o copiar el archivo “Grid” obtenido del MDE, se hace la conversión de este archivo para poder ser utilizado en la segunda ventana de “MainView”, como ya se había mencionado con anterioridad “Terrain Preprocessing – Fill Sinks”, una vez realizado este paso verificamos las unidades, estas pueden estar en metros, en kilómetros o realizar una combinación de estas. Una vez determinado lo anterior, debemos de tener seleccionado el archivo recién generado, en seguida nos vamos al menú “Terrain Preprocessing”, aquí seleccionaremos la opción “Full Preprocessing Setup”, al instante nos aparecerá una ventana, figura 5.59, la cual nos muestra la opción de poder modificar los nombres de los archivos a generar, debemos de verificar los nombres de los archivos que anteriormente no se hubieran utilizado o de lo contrario no podremos seguir adelante, porque nos aparecerá una ventana pidiendo el cambio del nombre o nombres de los archivos, en seguida aparecerán mas ventanas, las cuales se contestaran de acuerdo a como se vio en el primer método para la obtención de cuencas.

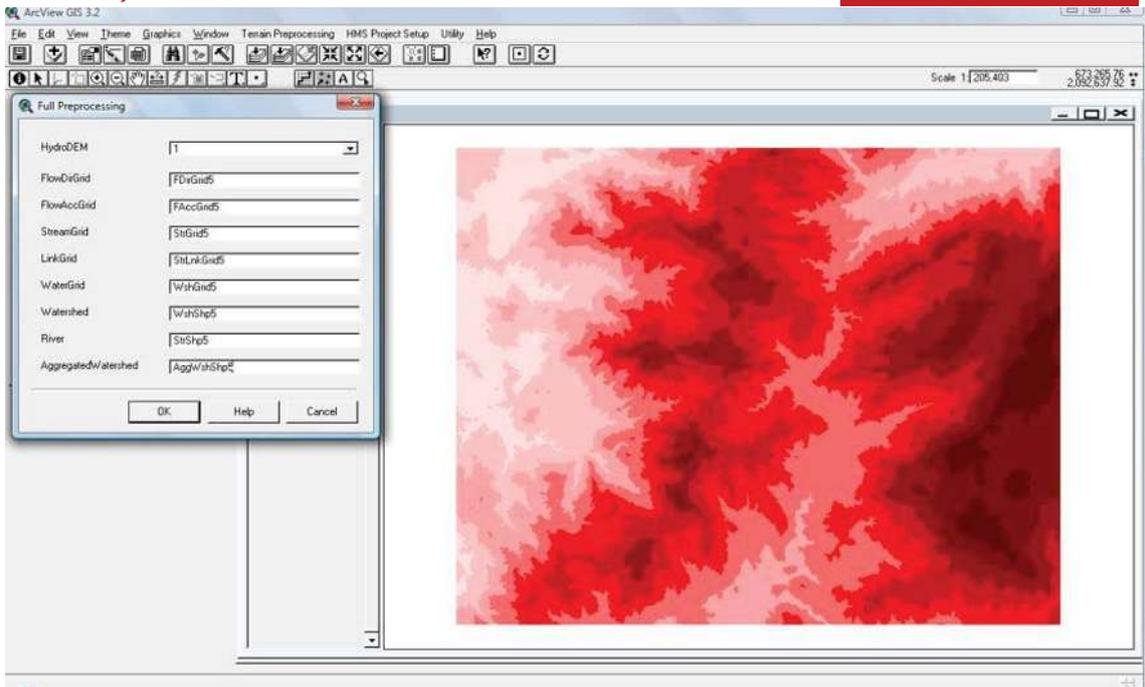


Figura 5.59, Ventana en la cual se pueden modificar los nombres de los archivos a generar.

Una vez realizado todos los pasos anteriormente mencionados los resultados serán iguales a los obtenidos con el primer método, figura 5.60.

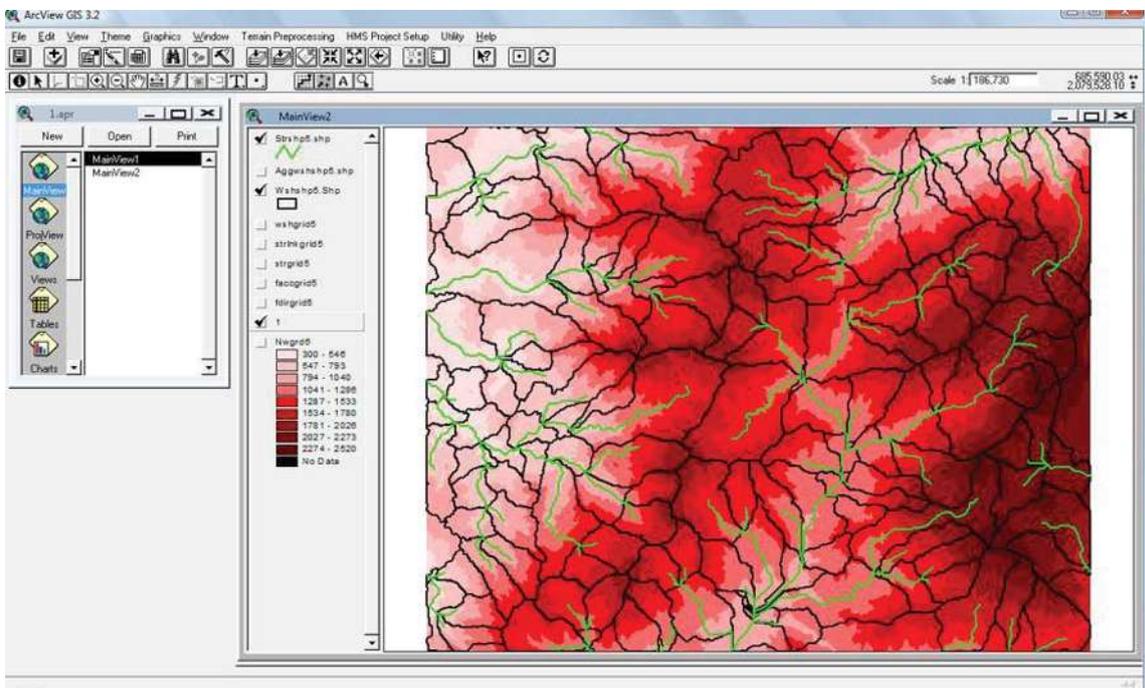


Figura 5.60, Se observan todas las capas generadas por el segundo método, las cuales son iguales a las del primer método.

C) USANDO EXTENSION HIDROLOGIC MODELING.

Enseguida hablaremos de la extensión “Hidrologic Modeling V11”, correspondiente a una extensión de muestra, la cual nos permite la determinación de cuencas al igual que la extensión “Hec-GeoHMS 1.1”, además la extensión “Hidrologic Modeling V11” permite la determinación de atributos de las cuencas.

Para la instalación de este archivo es necesario irnos a la unidad “C”, en esta unidad buscaremos la carpeta “ESRI”, dentro de esta nos meteremos a la carpeta “AV_GIS30”, una vez en esta entramos a “ARCVIEW”, en esta localizaremos la carpeta “Samples” y en esta a su vez la carpeta “ext”, en la cual encontraremos la extensión “hydrov11”, esta la copiaremos y la meteremos a la carpeta “EXT32”, localizada en el mismo lugar donde se localizo a “Samples”.

Primeramente debemos de abrir una nueva “View” en esta llamaremos o copiaremos el “Grid” anteriormente obtenido del MDE, recordemos dar las unidades a los temas o capas en metros o kilómetros, enseguida nos debemos de ir al menú de “Hidrologic Modeling V11” correspondiente a “Hydro”, en este menú seleccionaremos la opción “Hydrologic Modeling”, este procedimiento nos generara la ventana de la figura 5.61.

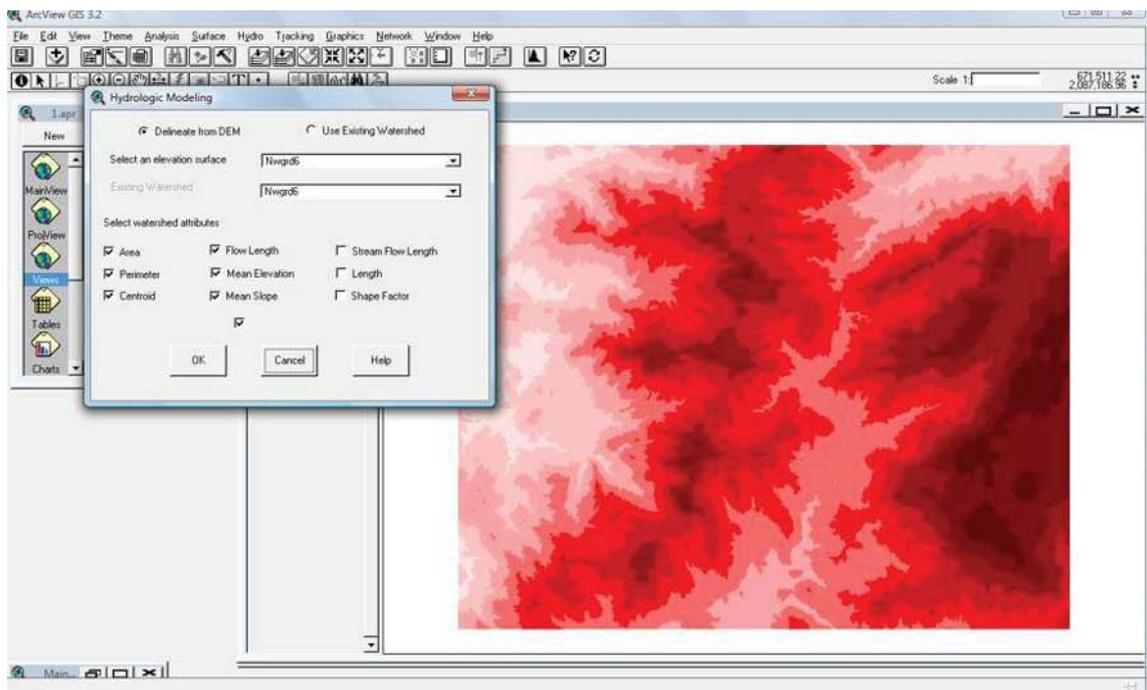


Figura 5.61, Ventana en la cual podemos especificar los atributos deseados a incluir a la información de la cuenca.

Para crear las cuencas a partir del MDE como es nuestro caso, debemos seleccionar la opción “Delineate from DEM” encontrada en la parte superior izquierda de la ventana. En los desplegables encontrados un poco más abajo, en el primero “Select an elevation surface” aparecerá automáticamente el tema o capa en “Grid”, en ocasiones es

necesario verificar si el tema o capa es el indicado, esto lo debemos de hacer solo cuando tenemos varios “Grid”, pero este no es nuestro caso, en la parte central de la ventana podemos seleccionar los atributos deseados a calcular, como es el área, perímetro, centroide, elevación media, pendiente media, etc.

Una vez aceptado lo anterior al pulsar “OK”, el programa nos preguntara en otra ventana si deseamos rellenar los sumideros detectados por el programa, los sumideros son celdas o zonas, cuya dirección es indefinida, la mayoría de estos son producto de errores de los datos del MDE, por lo cual nos conviene rellenarlos, una vez aceptando, nos aparecerá otra ventana donde se nos preguntara el número mínimo de celdas para la definición de cuencas, en otras palabras, se nos pregunta el mínimo tamaño de las cuencas, si el valor dado por default es aceptado nos aparecerá otra ventana, la cual nos preguntara si se desea utilizar este tema para posteriores análisis, el cual es nuestro caso, al aceptar nos aparecerá una ventana donde podemos dar la dirección y nombre con el que se guardara el archivo, en caso de haber sido negativa la opción, se nos volverá a preguntar el numero de celdas.

El resultado de las cuencas se muestra en la figura 5.62, es importante mencionar que las dos tablas de información que nos aparecen son correspondientes a los dos temas o capas que nos aparecieron, una tabla para cada tema, la utilización de las tablas se verá en los siguientes temas.

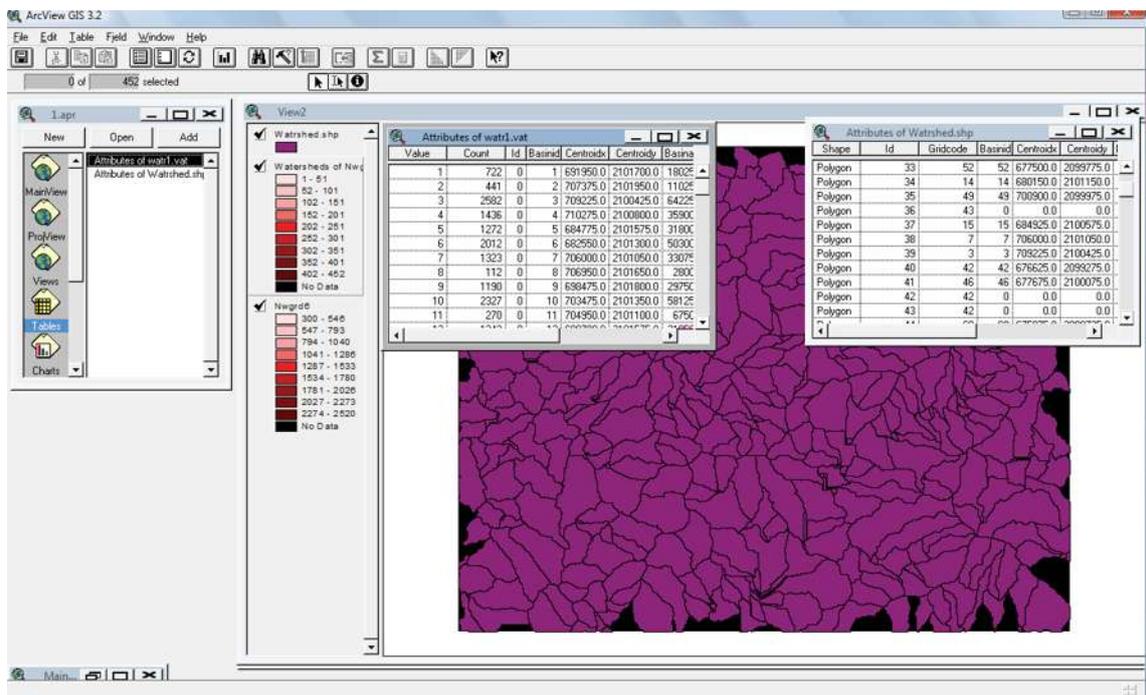


Figura 5.62, Muestra las dos tablas de información generadas, junto con el mapa de cuencas obtenido con la extensión “Hidrologic Modeling V11”.

De las tablas mostradas de información, los valores de cada columna significan lo siguiente:

La columna de centroix es el valor “x” de los centroides.
La columna centroidy es correspondiente al valor “y” del centroide de la cuenca.
En la columna basinarea es correspondiente al área de la cuenca en las unidades en las que hayamos creado las cuencas.
En la columna Perimeter se encuentran los datos del perímetro de cada cuenca.
La columna Mfdist contiene la longitud axial de la cuenca.
La columna Meanelev contiene la elevación media de la cuenca.
Por último en la columna Basinslop es la contenedora de la pendiente media de la cuenca.

En el inicio se menciona la posibilidad de trabajar solamente con el trazo realizado a mano de la cuenca con la extensión “Hec-GeoHMS 1.1”, el resultado se puede observar en la figura 5.63.

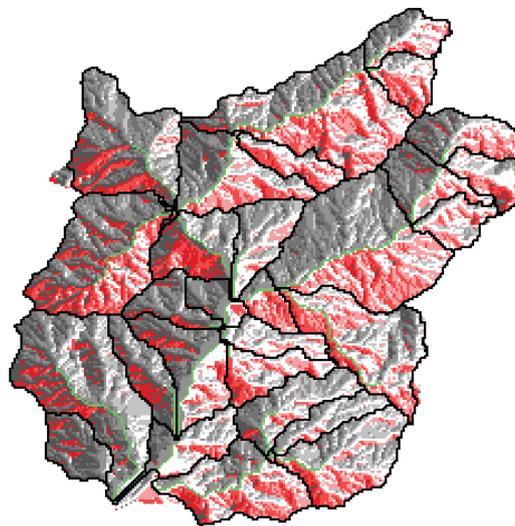


Figura 5.63, Resultado de corrientes, pendientes y cuencas del área en estudio.

V.1.1.5 MAPA DE LAS CUENCA USANDO MDE. DETERMINADO DETALLADAMENTE.

Los procedimientos utilizados enseguida son con el mapa de la figura 5.56 o podemos trabajar dentro del “MainView” que contiene esta figura, recordemos que lo anterior fue generado con la extensión “Hec-GeoHMS 1.1”.

Es notorio que a simple vista no se ve ni se sabe donde se encuentra el poblado de Coalcomán, así que fue necesario comprar una “ortofoto” para localizar el poblado. El procedimiento para visualizar la “ortofoto” es el mismo que se utilizó para ver el MDE, solo se debe de saber en cual carpeta se guardó la “ortofoto” y desde el programa de “ArcView 3.2” la llamamos, al realizar este procedimiento nuestro resultado será el de la figura 5.64.

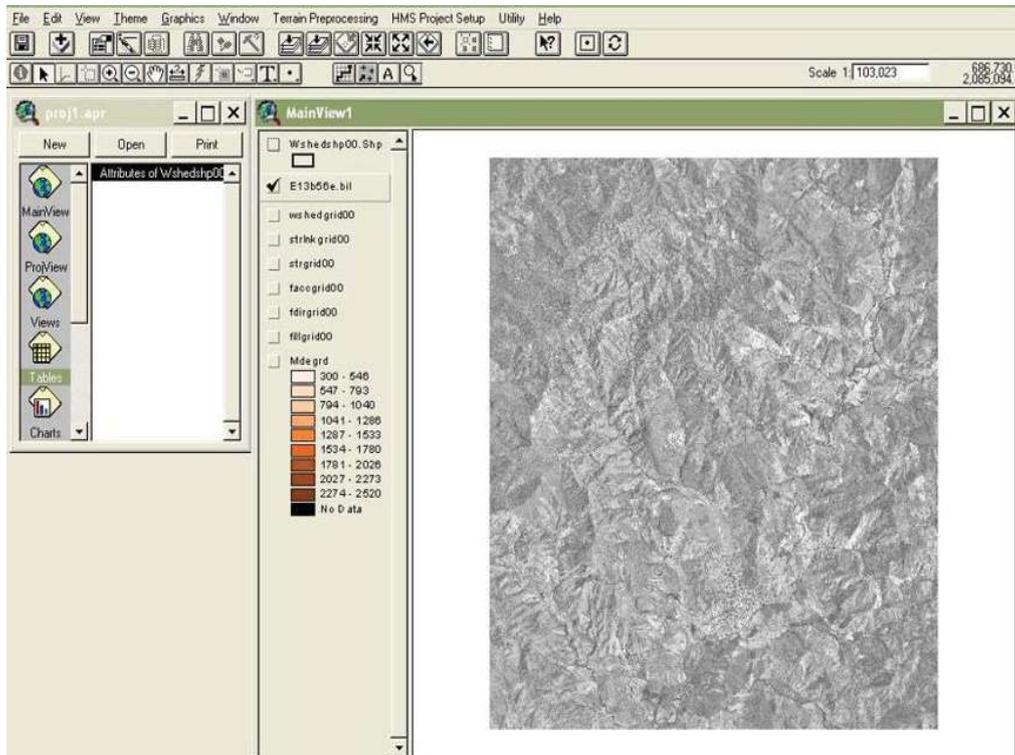


Figura 5.64, “Ortofoto” mostrada en “ArcView 3.2”.

En la “ortofoto” aparece el poblado de Coalcomán y de ahí nos guiaremos para seleccionar el área a estudiar, esto lo realizaremos por las corrientes que parten del poblado y de esta manera obtendremos las cuencas necesarias para el estudio hidrológico.

En la siguiente figura se mostrara el poblado de Coalcomán dentro de un círculo, figura 5.65, la forma de generar el círculo es irnos al icono “Draw”, el cual tiene la forma , se debe de dar doble clic sin soltar el ultimo clic para desplegar las opciones de los diversos gráficos que se tienen, entre ellos se encuentra el círculo. La otra manera para desplegar esta opción, es dando clic sobre el pequeño triangulo inferior a lado derecho encontrado en el icono, una vez seleccionada la opción del círculo, debemos de dar clic izquierdo en el centro de la zona a señalar, el círculo se dibujara y sin soltar el clic se dará el tamaño del mismo, siguiente a esta figura se realizo un acercamiento para su mejor visualización, figura 5.66, el acercamiento se realiza dando clic en el icono “Zoom in”, el cual se encuentra en la parte superior de “ArcView 3.2”, el icono es .

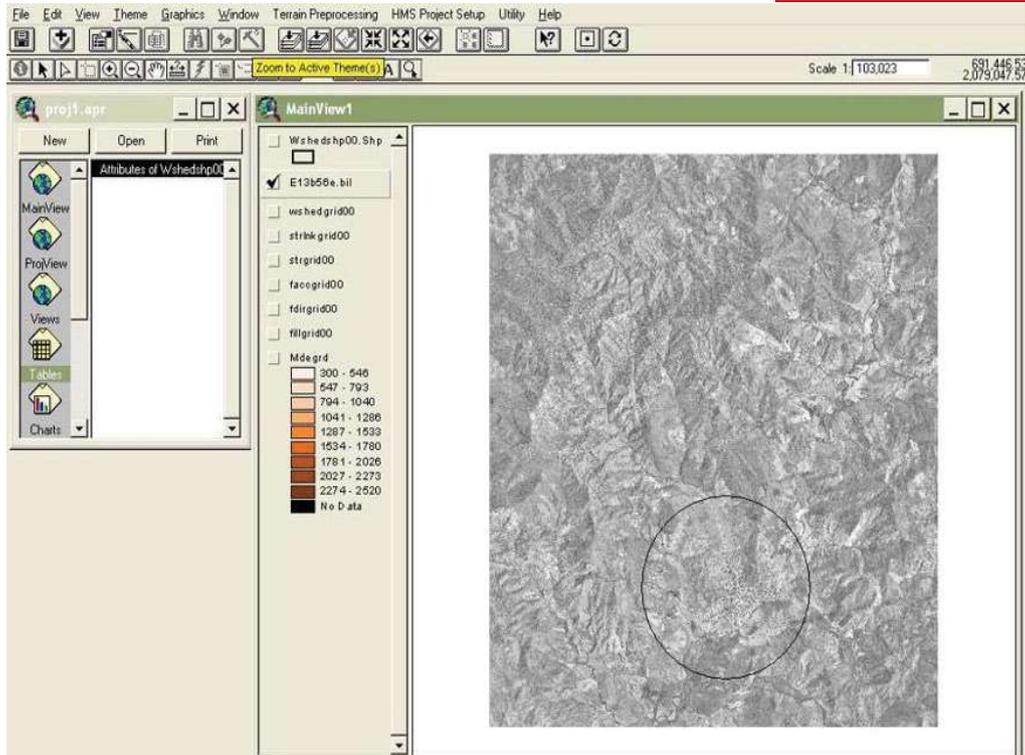


Figura 5.65, Se observa el poblado de Coalcomán dentro del círculo.

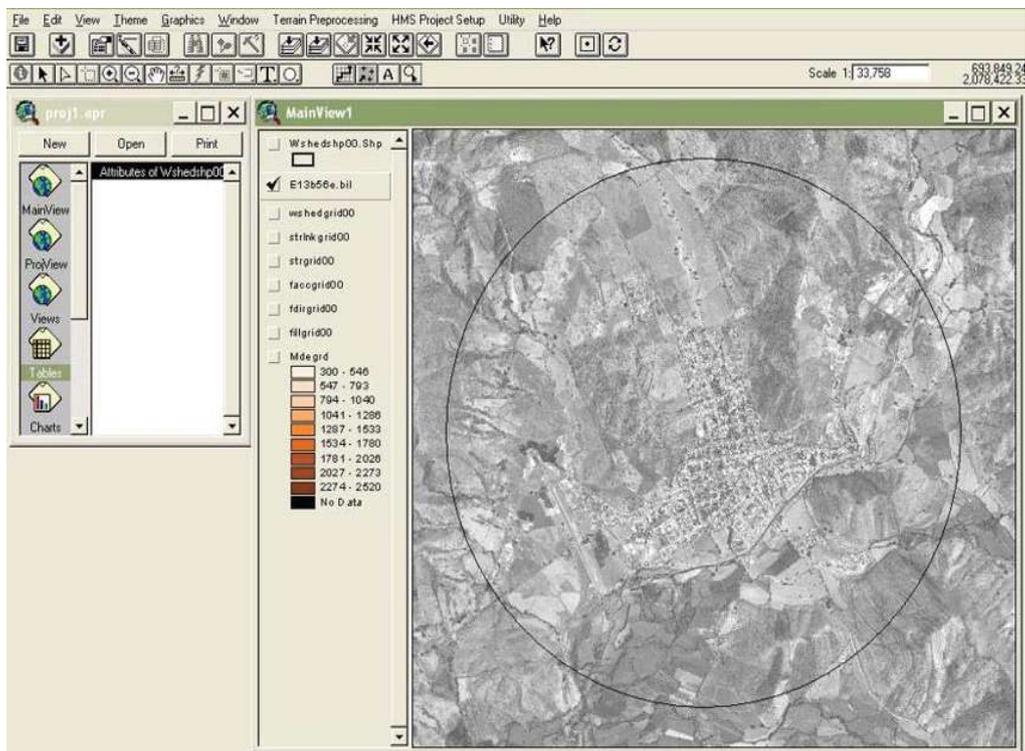


Figura 5.66, Acercamiento de la población de Coalcomán con el icono "Zoom in".

Ya ubicado el poblado de Coalcomán ponemos la “ortofoto” de fondo, por encima de esta encendemos el mapa de cuencas y el mapa de orden de corrientes obtenidos anteriormente, para hacer este procedimiento basta con seleccionar la capa que deseamos mover, damos un clic sobre esta y la arrastramos hacia arriba o abajo según se desee su posición respecto a la vista que nos dará, se observan las corrientes principales y seleccionamos las cuencas que rodeen los ríos a partir del poblado de Coalcomán y esa será el área a estudiar, figura 5.67.

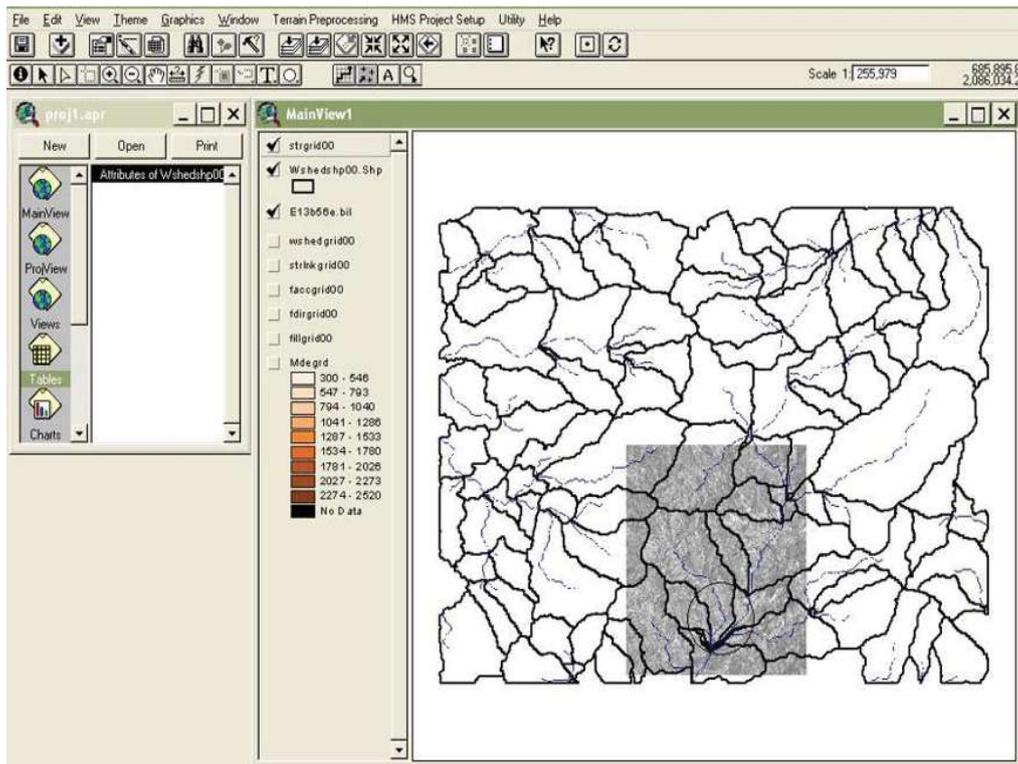


Figura 5.67, “Ortofoto” mostrada de fondo, así como los mapas de corrientes y de cuencas.

Ya teniendo ubicada el área a estudiar hacemos una selección de las cuencas que se encuentran en el área de estudio, esto se hace de la siguiente manera:

- 1.- se activa el mapa de las cuencas y se selecciona dicho tema o capa.
- 2.- seleccionamos el icono “Select Feature” .
- 3.- seleccionamos las cuencas con clic izquierdo, figura 5.68.

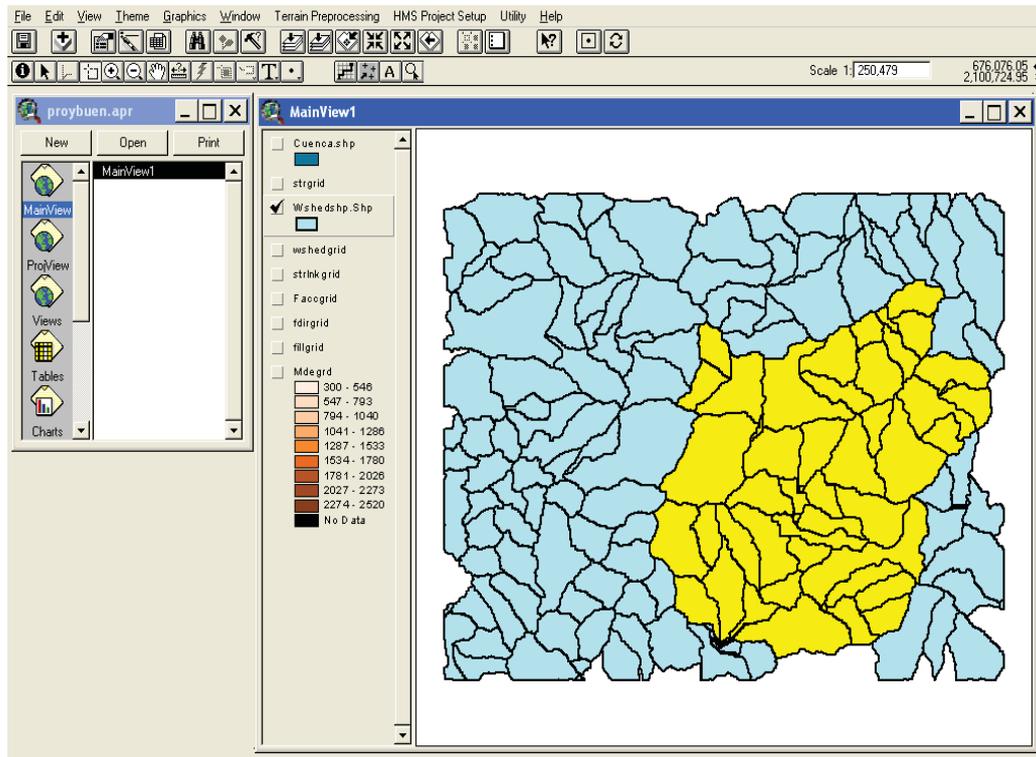


Figura 5.68, Las cuencas seleccionadas se pueden observar en color amarillo.

Ya seleccionada el área a estudiar, se hace un “Shapefile” donde solamente nos creará un mapa de la cuenca en general, el cual es el mapa que utilizaremos como base de aquí en adelante (al principio se mencionó como se crea un formato .shp), quedándonos el mapa de la siguiente forma, figura 5.69.

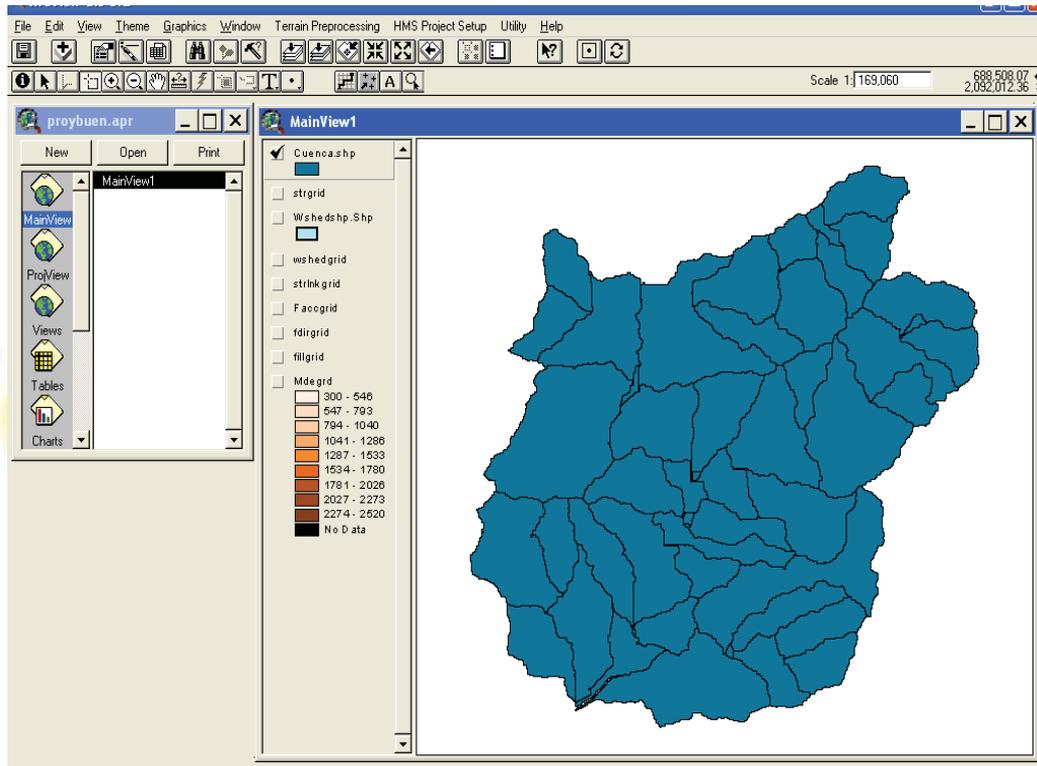


Figura 5.69, Mapa de las cuencas de interés para este estudio en formato “.shp”.

Uno de los motivos de esta tesis es hacer una comparación de un proyecto hecho en “Autocad” y compararlo con el resultado obtenido en “ArcView 3.2”, por lo cual, se desarrollo el trazo de la cuenca en “AutoCad”, este trazo fue mostrado anteriormente, abajo se muestra una comparativa del área que seleccionamos para estudiar en este proyecto y el obtenido de forma manual en “Autocad”, se mostrara el mapa de “Autocad” por encima de la figura 5.69, para que se observe mejor la comparativa, la forma de traer un archivo de “AutoCad” a “ArcView 3.2” se menciono anteriormente, solo que en este caso se debe de traer en línea no en polígono como la vez anterior, figura 5.70.

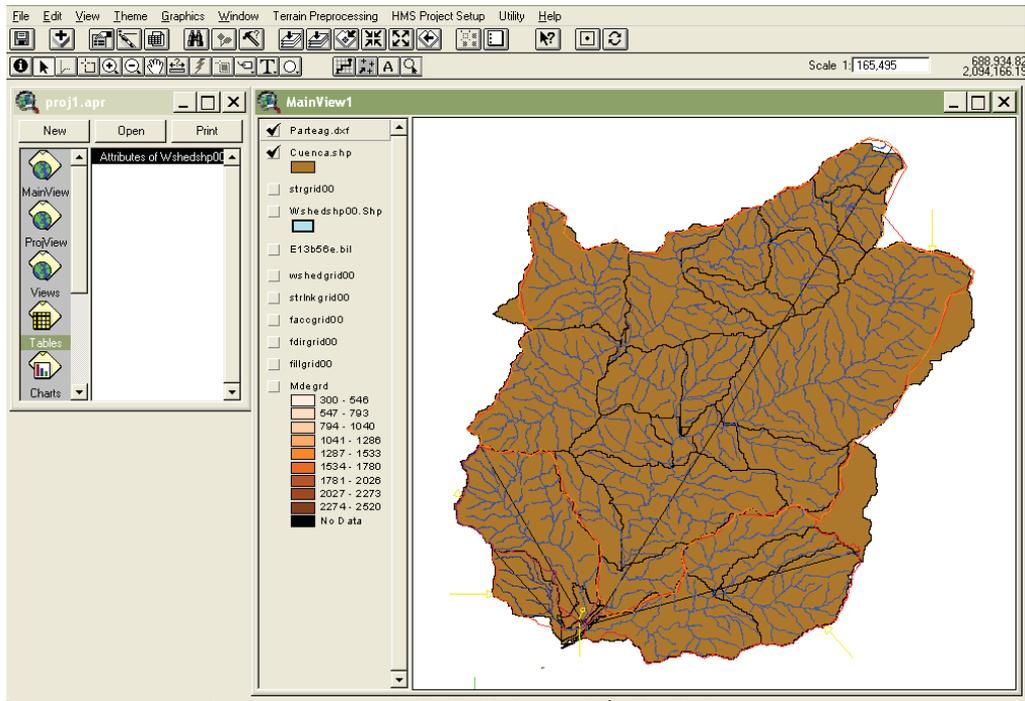


Figura 5.70, Comparativa de los dos métodos de trazo, el trazo hecho en “ArcView” se encuentra en color café.

Se ven claramente las diferencias entre ambos procedimientos, pero el parteaguas es muy similar en ambos casos, de esta manera se concluye que “los resultados hechos por ambos procedimientos están bien”.

Nuestro siguiente paso es separar las cuencas que están dentro de la cuenca en general, estas se dividen de acuerdo a los ríos que están dentro de la cuenca, estas son cuatro:

- 1.- Rio Grande.
- 2.- Rio Apamila.
- 3.- Rio Chiquito.
- 4.- Arroyo las Ánimas.

El procedimiento para separar las cuencas es el mismo que se utilizó unos pasos atrás, cuando se creó el “Shape” para la cuenca general, figura 5.71.

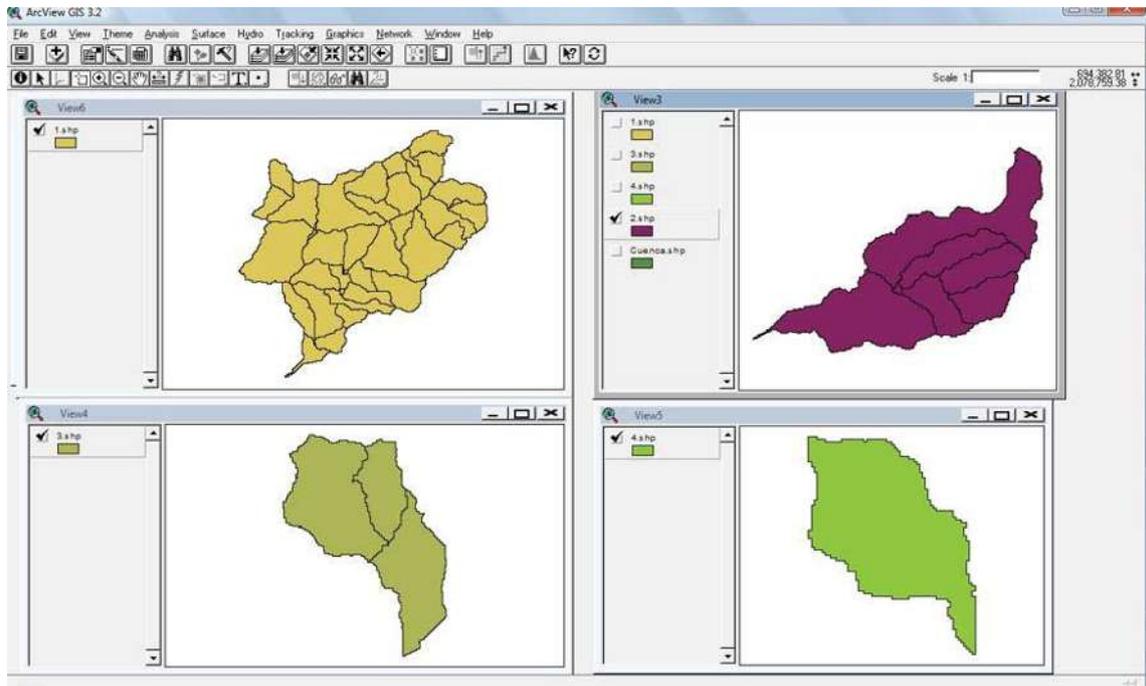


Figura 5.71, Una vez creadas las cuencas, se separaron en diversas “View” para su mejor observación.

Los “Shape” creados fueron designados con un número distinto, este número es correspondiente a cada cuenca o al nombre de cada cuenca, estos nombres fueron enlistados arriba y en base a esta lista se realizó lo anteriormente mencionado.

Con la extensión “Hidrologic Modeling V11”, la forma de separar las cuencas en estudio es similar, primero en la “View” donde obtuvimos las cuencas utilizando esta extensión abriremos el “Shape” de la figura 5.20, quedándonos como se muestra en la figura 5.72 , esto se realiza con la intención de tener una base con que separar las cuencas en estudio.

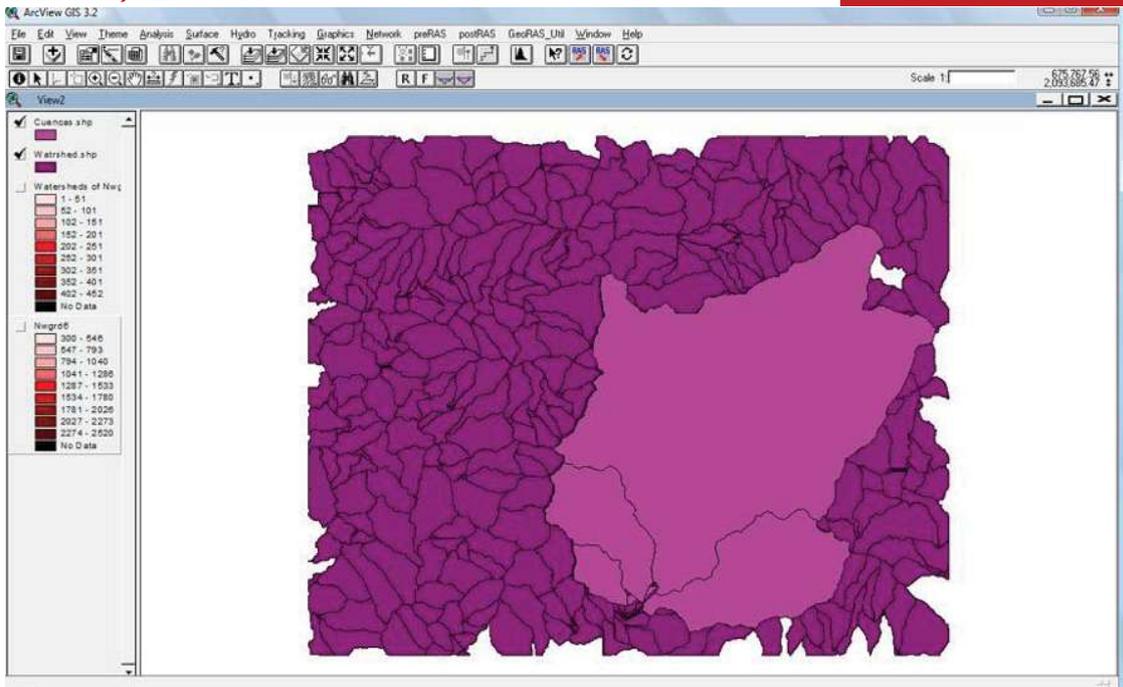


Figura 5.72, Muestra las cuencas de la figura 5.20 sobre las cuencas obtenidas con la extensión “Hidrologic Modeling V11”.

Una vez realizado lo anterior nos basamos para la obtención de las cuencas en estudio, la primera cuenca que separaremos será la Cuenca Rio Grande, figura 5.73.

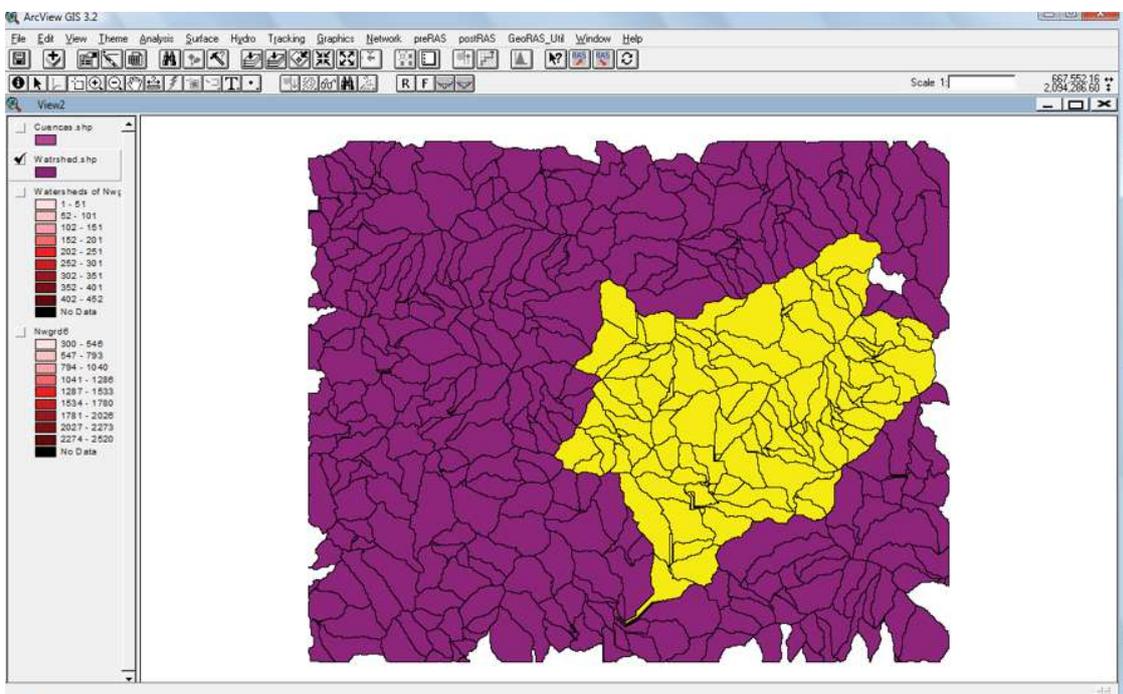


Figura 5.73, Selección de la Cuenca Rio Grande.

En seguida generamos un “Shape” de esta selección, dándonos el resultado de la figura 5.74.

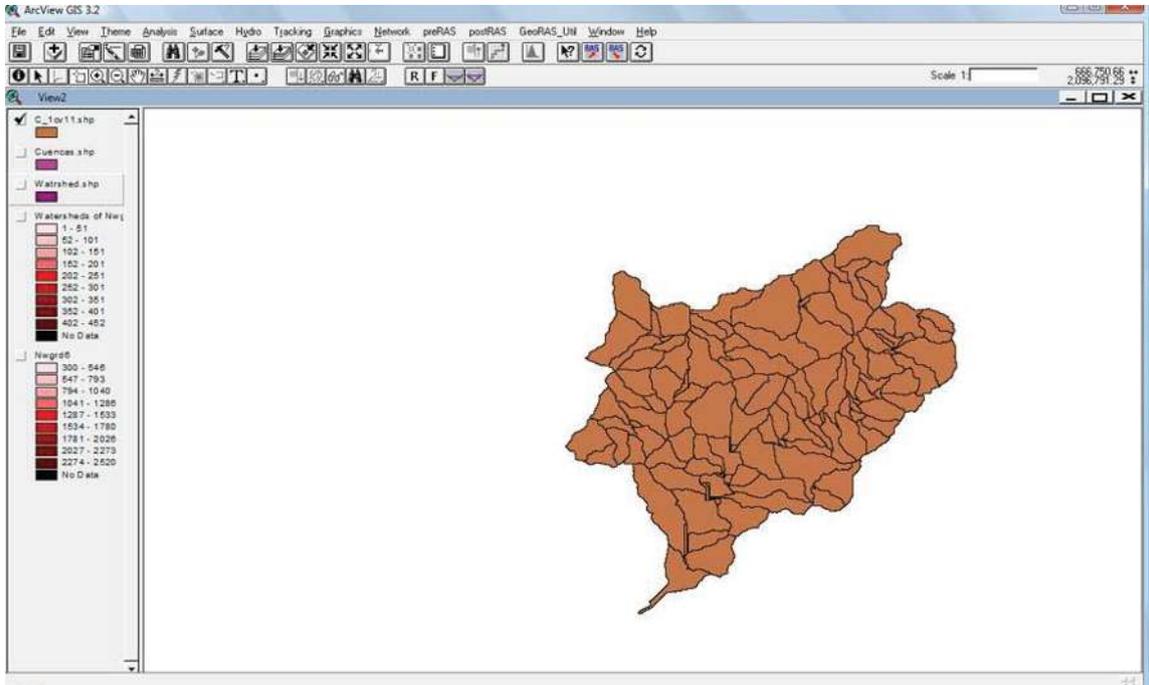


Figura 5.74, Subcuentas de la Cuenca Rio Grande.

El procedimiento anterior se realiza para cada cuenca faltante dándonos como resultado la figura 5.75.

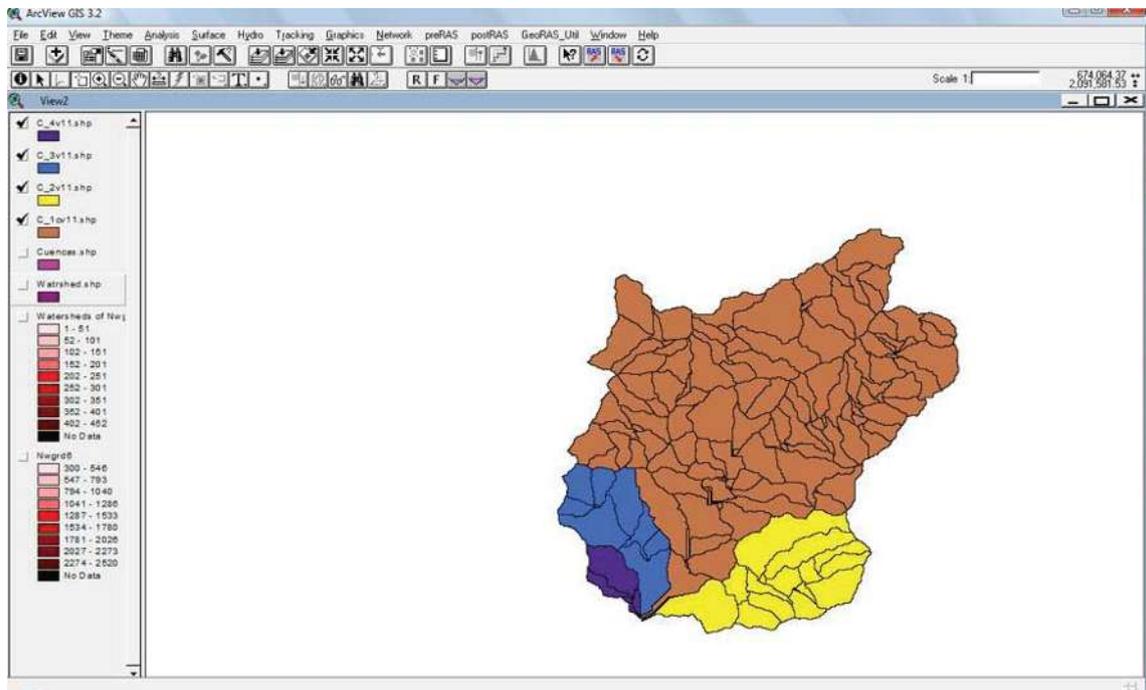


Figura 5.75, Se observan los “Shape” para las cuatro cuencas en estudio y las subcuencas dentro de cada cuenca.

V.1.1.6 MAPA TOPOGRAFICO DE LAS CUENCAS. USANDO MDE.

Primeramente debemos de abrir una “View”, enseguida debemos de llamar el “Grid” del MDE, recordemos colocar las unidades en las que se trabajara, enseguida nos vamos al menú “Surface” en este seleccionaremos la opción “Create Contours”, a continuación aparecerá una ventana en la cual debemos de colocar el intervalo del contorno, se puede dejar el que se da por default o se puede cambiar, en nuestro caso el intervalo se cambio a cada 20, en la base del contorno no se modifico nada, una vez aceptado lo anterior nuestro resultado se observa en la figura 5.76.

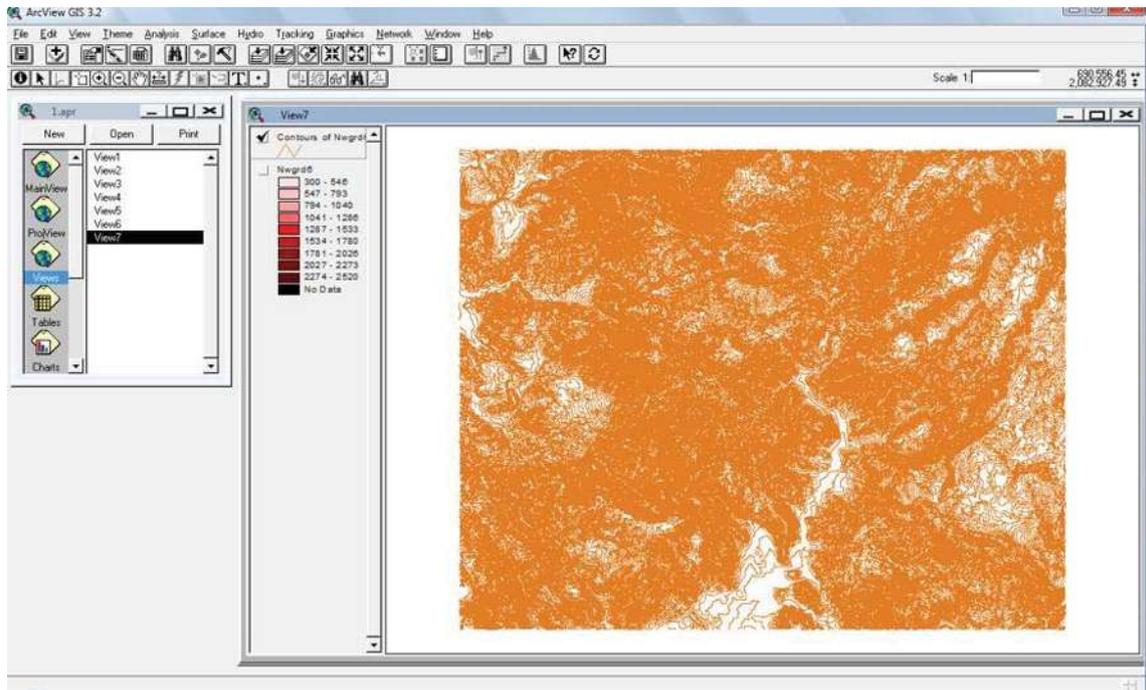


Figura 5.76, Curvas de nivel a cada 20 unidades, las unidades depende de cada persona.

Nuestro siguiente paso es la realización del corte del área en estudio, primeramente debemos de llamar la cuenca general, en este caso se llamo la cuenca creada automáticamente, el procedimiento de corte se realizo con el “GeoProcessing Wizard”, este procedimiento ya se explico anteriormente, el resultado del corte lo podemos observar en la figura 5.77.

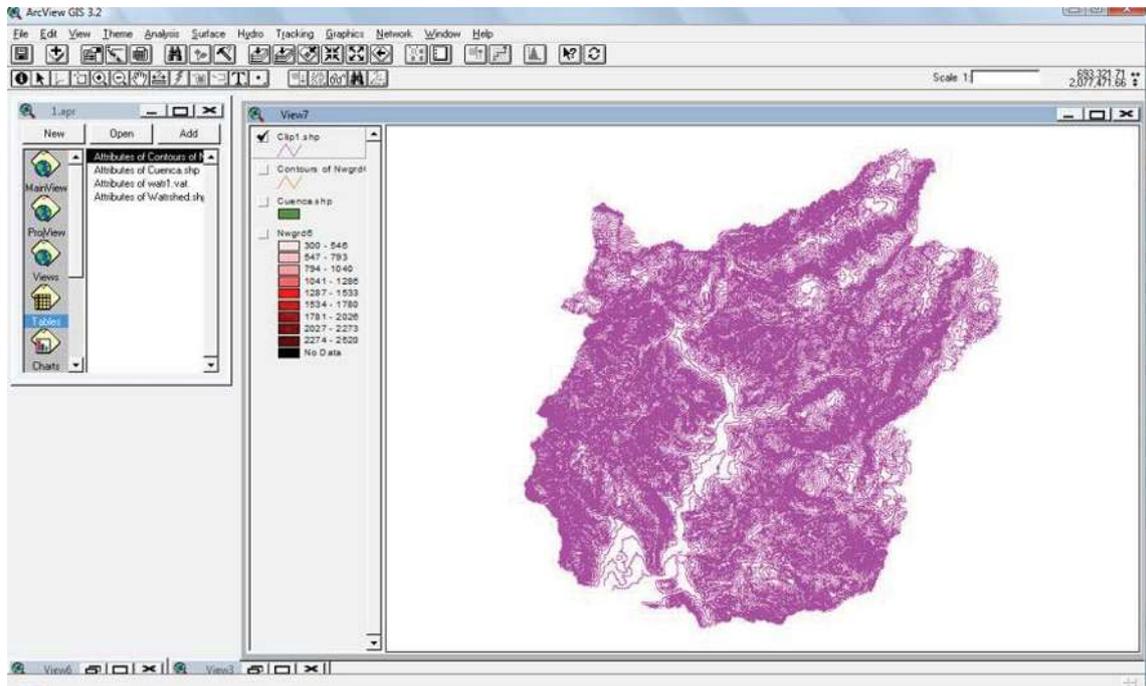


Figura 5.77, Mapa de la topografía de la cuenca general.

V.1.2 OBTENCION MAPA TIPO DE SUELO, USANDO INFORMACION DE TIPO DE SUELO (FORMATO VECTORIAL).

Para este estudio hidrológico también fue necesario comprar dos mapas adicionales al MDE, estos dos mapas son:

- 1.- Tipo de suelo (edafológico)
- 2.- Uso de suelo

Estos dos mapas también serán cortados con la cuenca general en estudio, es importante mencionar que ambos mapas vienen directamente en formato “.shp”.

Primeramente para trabajar con este mapa se puede crear una nueva “View” y en esta llamar al mapa de tipo de suelo, figura 5.78.

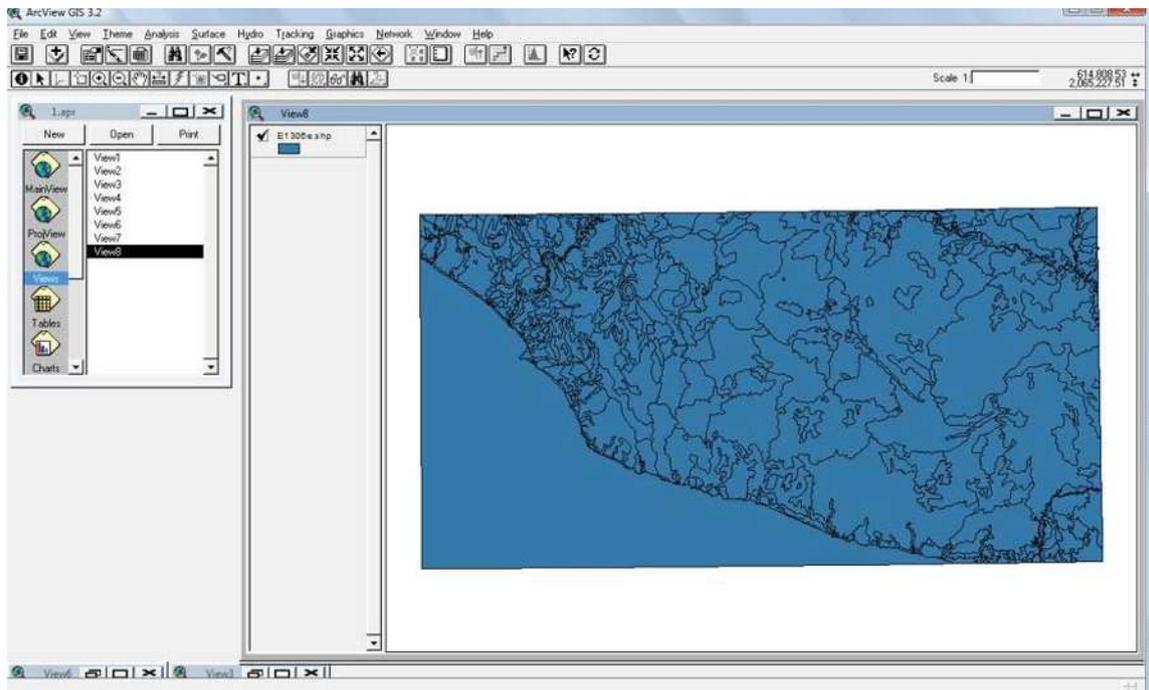


Figura 5.78, Mapa edafológico en formato “shp” comprado en INEGI.

La información de este mapa la podemos ver de dos diferentes formas, una es toda la información completa, dando clic en el icono “Open Theme Table”, el cual tiene la forma , esto es teniendo seleccionado el tema del que deseamos ver la información y la otra es por partes, al igual que en el anterior caso es necesario tener el tema del cual deseamos ver la información seleccionado, en seguida nos vamos a dar un “clic” sobre el icono “Identify”, el cual tiene la forma , después se dará “clic” sobre alguna región de la cual deseamos saber su información, para un mejor entendimiento de estas dos formas de obtener las tablas de información o atributos, ver el tema 5.2.2, en el subtema “clasificación de los tipos de suelo”, se decidió explicar mejor este tema debido al uso de las tablas que se tendrá.

La tabla con información completa se puede ver en la figura 5.79.

La tabla con información restringida o solo de una porción se puede observar en la figura 5.80.

Shape	Id	Area	Perimeter	Hectares	Clave	Fc	Nom_sue1	Nom_sub1	Nom_sue2	Nom_sub2	Nom_sue3	Nom_sub3	Clas_text	Fas_fisca	Fas_quant
Polygon	6960	10381464.488	135155.466	1038146	H20	6292	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	7566	21831484.763	146314.728	2183148	H20	6292	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	7755	1961773.712	8288.656	196177	H20	6292	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	7757	104492.531	1495.345	10449	H20	6292	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	7776	10099717.423	21488.908	1009972	H20	6292	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	7777	10878908.329	17048.044	1087891	H2/3	21775	Litosol	N/A	Frendzina	N/A	NINGUNO	NINGUNO	Fina	NINGUNO	NINGUNO
Polygon	7796	37557.051	1349.005	3756	H20	6292	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	7805	667511.042	5271.368	66751	H20	6292	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	7808	37313.065	834.487	3731	H20	6292	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	7831	78328.020	1313.579	7833	H20	6292	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9465	404569.887	3636.963	40457	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9470	315357.281	2331.157	31536	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9478	1439698.486	7950.187	143969	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9487	302757.035	2726.752	30276	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9492	674698.085	5491.595	67490	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9493	158677.684	2152.217	15868	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9514	2934540.031	16520.481	293454	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9523	2657004.190	13303.930	265700	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9524	9912241.396	26222.368	991224	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9537	1432460.166	6408.954	143246	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9541	384444.220	2520.480	38444	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9563	399342.651	2908.437	39934	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9578	71108.160	3746.532	7110	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9595	688332.224	3786.430	68833	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9612	341300.665	2536.980	34130	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9625	678690.581	4286.175	67869	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9631	1738913.615	7105.066	173891	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9635	1506765.177	5960.761	150677	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9636	489829.985	2959.920	48983	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9648	1126195.162	4513.631	112620	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9650	2429873.679	8091.480	242987	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9664	3536950.165	9673.777	353695	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9675	294950.496	3053.383	29495	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9719	415198.412	2465.063	41520	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9720	702152.711	4101.949	70215	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9727	471150.665	4305.162	47115	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9732	450130.033	2759.052	45013	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Polygon	9795	650729.370	4586.953	65073	ZU	6525	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Figura 5.79, Información edafológica de todo el mapa.

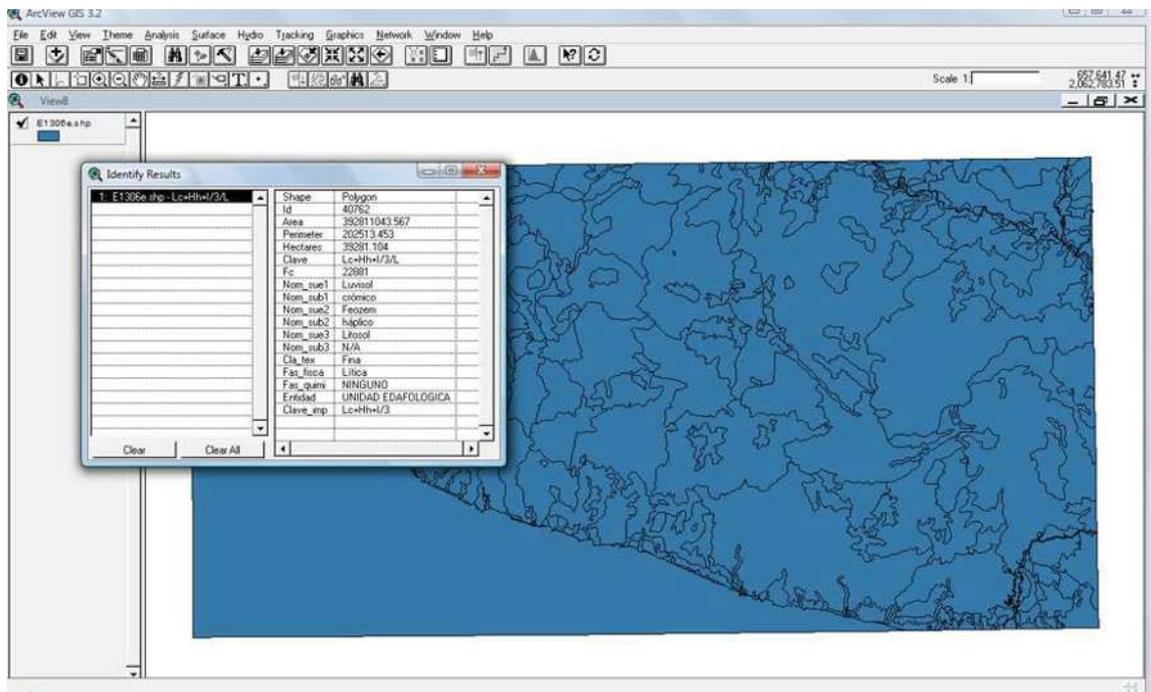


Figura 5.80, Información de una sola porción del mapa.

Nuestro siguiente paso a realizar es hacer un corte de la cuenca en estudio, para ello es necesario llamar la cuenca general, en nuestro caso se llamó a la cuenca trazada

automáticamente, enseguida se realiza el corte, el resultado se puede observar en la figura 5.81.

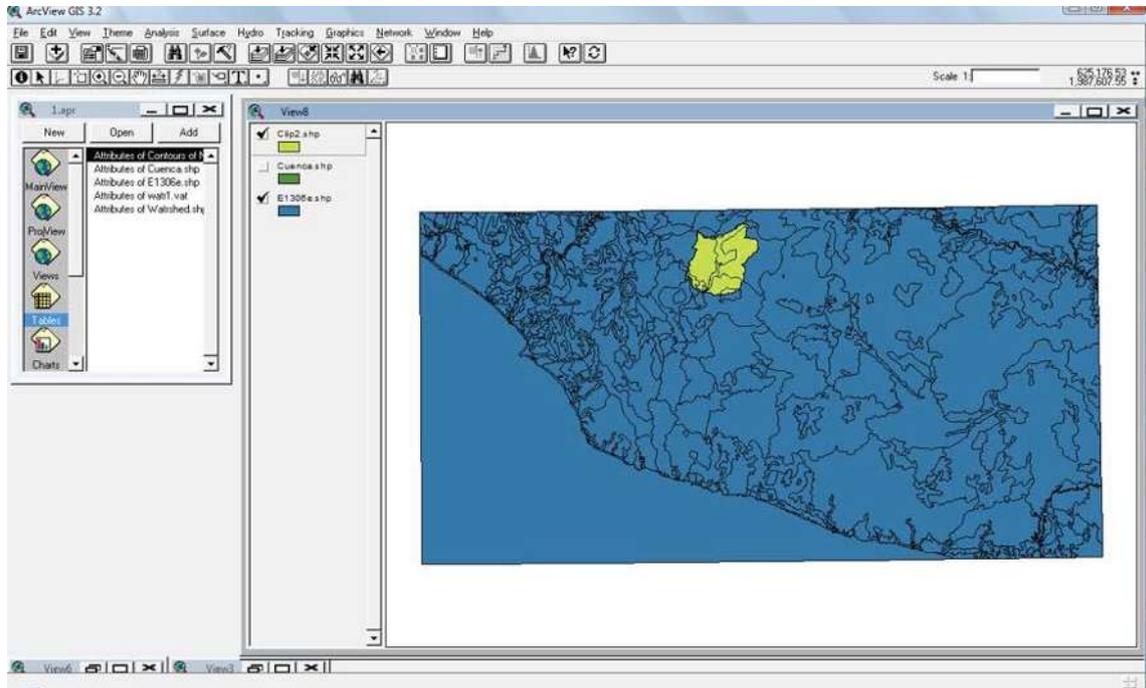


Figura 5.81, Se observa el área que se va a recortar en color verde.

Enseguida se desactivara el tema del mapa edafológico, se seleccionara el tema del corte recién generado y daremos clic en el icono “Zoom to Active Theme(s)” el cual tiene la forma , esto nos servirá para ver completamente solo este tema seleccionado, el resultado de este procedimiento se observa en la figura 5.82.

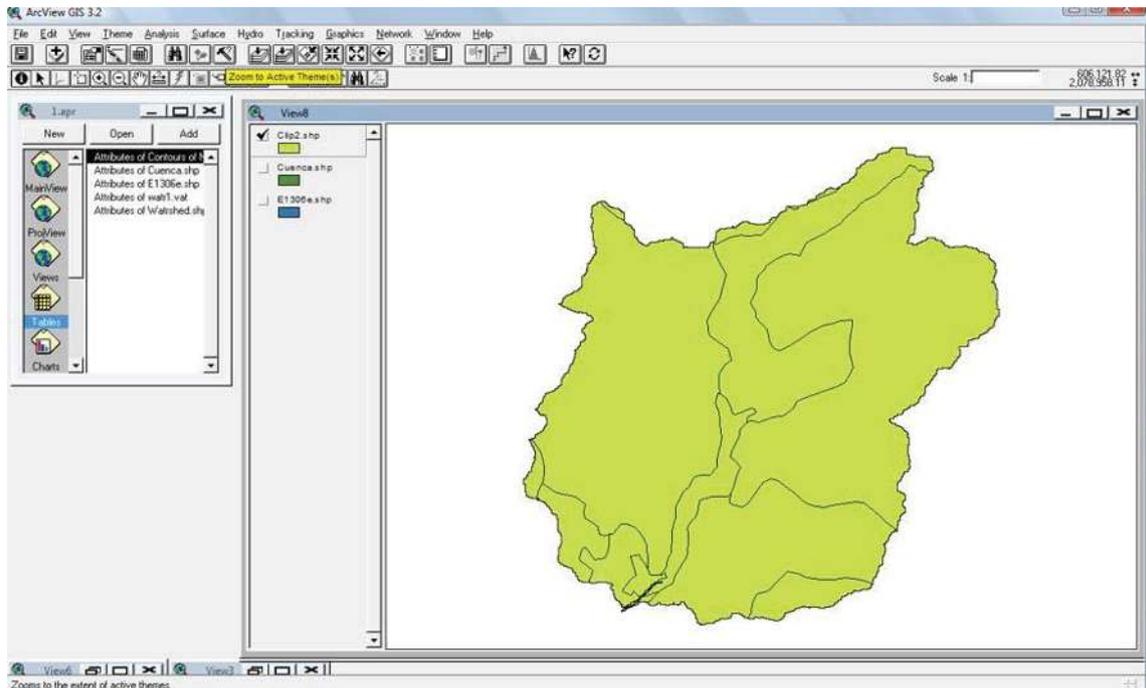


Figura 5.82, Recorte de la edafología de la zona en estudio.

V.1.3 OBTENCION MAPA USO DE SUELO, USANDO INFORMACION DE USO DE SUELO (FORMATO VECTORIAL).

Como ya se menciona anteriormente, el mapa de uso de suelo se compro en INEGI, este viene en formato vectorial y la forma que tiene la podemos ver en la figura 5.83, la información de este la podemos observar en la figura 5.84, si se desea se puede generar una “View” para abrir dicho mapa y así llevar un mejor orden.

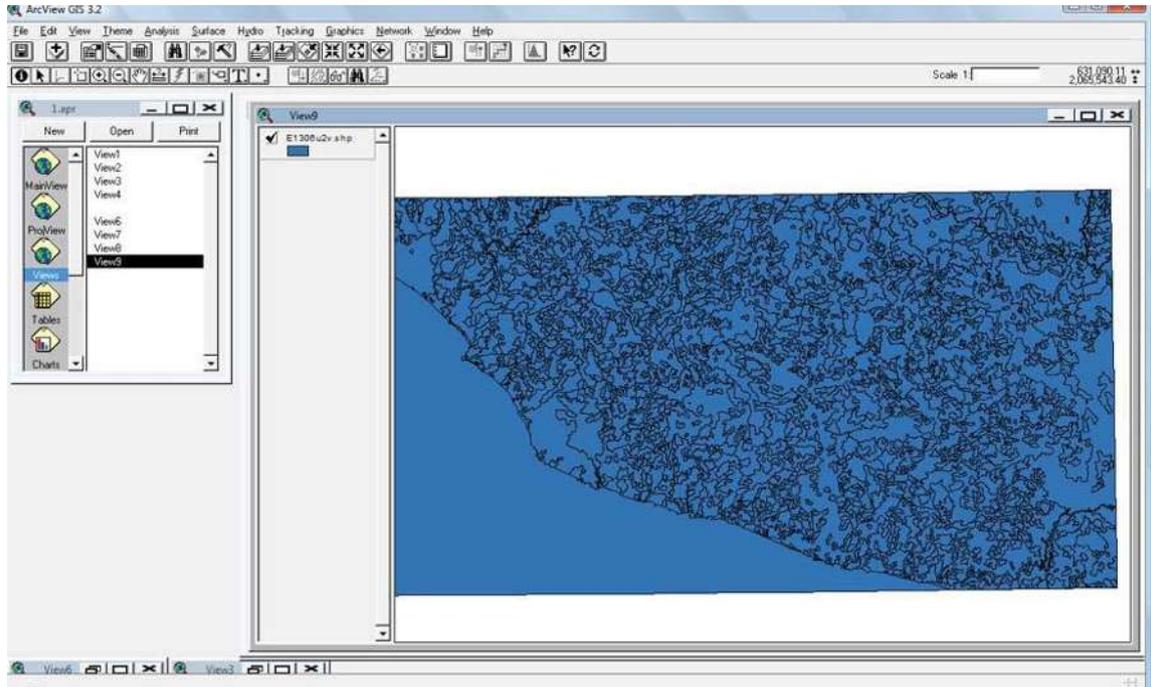


Figura 5.83, Mapa de uso de suelo.

Attributes of E1306u2v.shp

Shape	Area	Perimeter	E1306u2v	E1306u2v	Fc	Clavetot	Entidad	Tipo	Fisconomia	Veget. sec.	Erosion	pt
Polygon	6109730.000	15166.804	2	28673	6174	RPA	AREA AGRICOLA	negro	no aplicable	no aplicable	sin erosion apreciable	pe
Polygon	24474759.000	25255.049	3	28763	6180	RPS	AREA AGRICOLA	negro	no aplicable	no aplicable	sin erosion apreciable	pe
Polygon	58131236.000	73373.555	4	28544	6174	RPA	AREA AGRICOLA	negro	no aplicable	no aplicable	sin erosion apreciable	pe
Polygon	1514949.750	5976.337	5	28689	6906	SMS/VSA	SELVA	Selva mediana subcaducifolia	no aplicable	Vegetacion secundaria arboree	sin erosion apreciable	nc
Polygon	4399851.000	8921.631	6	28739	6842	SBC/VSA	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetacion secundaria arboree	sin erosion apreciable	nc
Polygon	796678.750	4118.819	7	28599	6214	TA	AREA AGRICOLA	temporal	no aplicable	no aplicable	sin erosion apreciable	ar
Polygon	725946.938	3763.954	8	28776	6906	SMS/VSA	SELVA	Selva mediana subcaducifolia	no aplicable	Vegetacion secundaria arboree	sin erosion apreciable	nc
Polygon	7121593.500	24189.139	9	28750	6902	SMS	SELVA	Selva mediana subcaducifolia	no aplicable	ninguno	sin erosion apreciable	nc
Polygon	308937.344	2298.348	10	28906	6525	ZU	LOCALIDAD	Zona Urbana	no aplicable	no aplicable	sin erosion apreciable	nc
Polygon	45854000.000	58905.094	11	28411	6838	SBC	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	ninguno	sin erosion apreciable	nc
Polygon	5824165.500	13237.080	12	28783	6840	SBC/VSA	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetacion secundaria arbusti	sin erosion apreciable	nc
Polygon	22094432.000	347293.219	13	28781	6840	SBC/VSA	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetacion secundaria arboree	sin erosion apreciable	nc
Polygon	16749434.000	31278.373	14	28655	6214	TA	AREA AGRICOLA	temporal	no aplicable	no aplicable	sin erosion apreciable	ar
Polygon	2218215.500	6094.280	15	28811	6172	RP	AREA AGRICOLA	negro	no aplicable	no aplicable	sin erosion apreciable	pe
Polygon	404357.313	3625.581	16	28812	6525	ZU	LOCALIDAD	Zona Urbana	no aplicable	no aplicable	sin erosion apreciable	nc
Polygon	910769.688	4497.089	17	28770	6156	RAP	AREA AGRICOLA	negro	no aplicable	no aplicable	sin erosion apreciable	ar
Polygon	9163915.000	14147.797	18	28782	6152	RA	AREA AGRICOLA	negro	no aplicable	no aplicable	sin erosion apreciable	ar
Polygon	1629360.750	6380.960	19	28642	6904	SMS/VSA	SELVA	Selva mediana subcaducifolia	no aplicable	Vegetacion secundaria arbusti	sin erosion apreciable	nc
Polygon	655594.250	3895.970	20	28603	6902	SMS	SELVA	Selva mediana subcaducifolia	no aplicable	ninguno	sin erosion apreciable	nc
Polygon	8545725.000	17521.297	21	28714	6904	SMS/VSA	SELVA	Selva mediana subcaducifolia	no aplicable	Vegetacion secundaria arbusti	sin erosion apreciable	nc
Polygon	1816912.500	5805.505	22	28681	6906	SMS/VSA	SELVA	Selva mediana subcaducifolia	no aplicable	Vegetacion secundaria arboree	sin erosion apreciable	nc
Polygon	455206.156	3428.880	23	28710	6300	BQ/VSA	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	Vegetacion secundaria arbusti	sin erosion apreciable	nc
Polygon	6146117.000	20278.973	24	28623	6838	SBC	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	ninguno	sin erosion apreciable	nc
Polygon	13133152.000	27727.844	25	28699	6214	TA	AREA AGRICOLA	temporal	no aplicable	no aplicable	sin erosion apreciable	ar
Polygon	631976.063	3725.952	26	28819	6842	SBC/VSA	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetacion secundaria arboree	sin erosion apreciable	nc
Polygon	1306371.875	5126.882	27	28724	6838	SBC	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	ninguno	sin erosion apreciable	nc
Polygon	10342935.000	134865.125	28	28620	6292	H20	CUERPO DE AGUA	Cuerpo de agua	no aplicable	no aplicable	no aplicable	nc
Polygon	126827.797	1543.441	29	28724	6838	SBC	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	ninguno	sin erosion apreciable	nc
Polygon	4810579.500	15422.176	30	28746	6214	TA	AREA AGRICOLA	temporal	no aplicable	no aplicable	sin erosion apreciable	ar
Polygon	110632680.000	146858.531	31	28581	6842	SBC/VSA	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetacion secundaria arboree	sin erosion apreciable	nc
Polygon	41145712.000	63447.613	32	28543	6214	TA	AREA AGRICOLA	temporal	no aplicable	no aplicable	sin erosion apreciable	ar
Polygon	13058936.000	22731.594	33	28722	6842	SBC/VSA	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetacion secundaria arboree	sin erosion apreciable	nc
Polygon	3627172.250	8069.545	34	28824	6906	SMS/VSA	SELVA	Selva mediana subcaducifolia	no aplicable	Vegetacion secundaria arboree	sin erosion apreciable	nc
Polygon	1386011.500	5524.713	35	28790	6214	TA	AREA AGRICOLA	temporal	no aplicable	no aplicable	sin erosion apreciable	ar
Polygon	3775993.500	11534.520	36	28625	6838	SBC	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	ninguno	sin erosion apreciable	nc
Polygon	10391572.125	6198.142	37	28728	6938	SBC	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	ninguno	sin erosion apreciable	nc
Polygon	18377840.000	26387.750	38	28572	6840	SBC/VSA	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetacion secundaria arbusti	sin erosion apreciable	nc
Polygon	541265.500	3026.067	39	28744	6842	SBC/VSA	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetacion secundaria arboree	sin erosion apreciable	nc

Figura 5.84, Información contenida en el mapa de uso de suelo.

A continuación haremos el corte del mapa de “Uso de Suelo”, el procedimiento es el mismo que para el Tipo de Suelo, el resultado se puede observar en la figura 5.85.

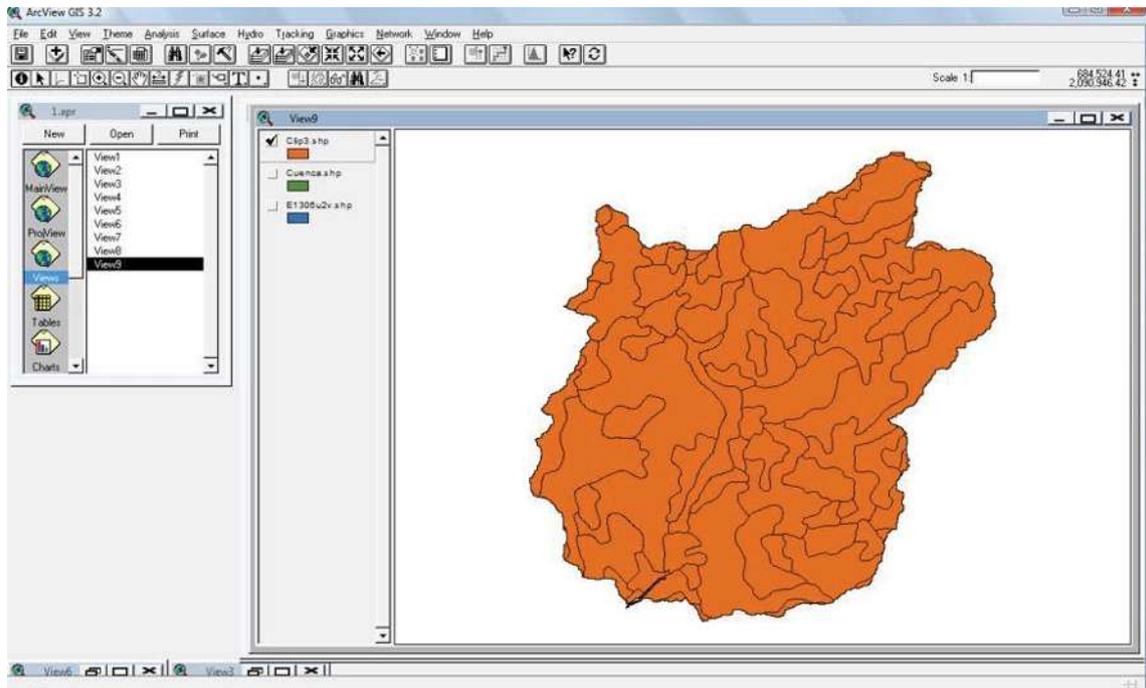


Figura 5.85, Recorte del uso de suelo de la zona en estudio.

V.1.4 OBTENCION DE MAPAS DIVERSOS, USANDO INFORMACION METEOROLOGICA (FORMATO NUMERICO).

A) MAPA DE ESTACIONES METEOROLOGICAS.

Primeramente debemos de tener las coordenadas en “UTM” de las estaciones a utilizar, si estas no se tienen entonces se trabajaran con las coordenadas “GEOGRAFICAS” de las estaciones, lo más común es que estas coordenadas se tengan en geográficas, nuestro primer paso es tener estas coordenadas acomodadas en columnas en el programa de Excel, el titulo de la primer columna será “X” que corresponderá a los datos de la longitud, nuestra segunda columna se llamara “Y” y en esta se tendrán los valores de la latitud, y por ultimo debemos de colocar una columna con el nombre de código, la cual ira antes que las dos anteriores, en esta se colocaran números del uno al número que tengamos de estaciones, en caso de trabajar con coordenadas geográficas, enseguida nos daremos paso a copiar estas dos columnas a un documento de texto, para tener un formato en “.txt”, figura 5.86, el archivo lo guardaremos en la unidad “C” en la carpeta donde hemos estado trabajando.



Figura 5.86, Muestra las coordenadas de las estaciones en formato “.txt”, esto se realiza para poder abrir el archivo en “ArcView 3.2”.

Existe otra manera de generar un archivo en “ArcView 3.2” para leerlo, esta se realiza directamente en Excel, al momento de guardar el archivo lo debemos de guardar en formato “texto (delimitado por tabulaciones)”, ver figura 5.87.

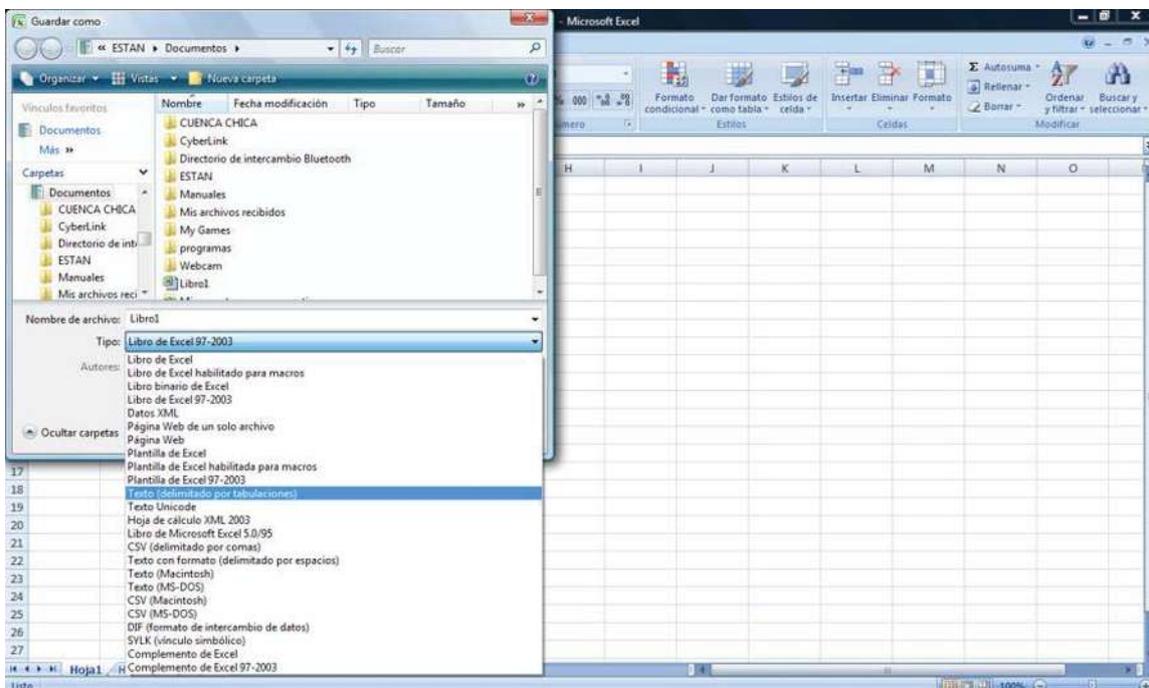


Figura 5.87, Manera de guardar el archivo en formato “texto (delimitado por tabulaciones)”.

Nuestro siguiente paso se realizará en “ArcView 3.2”, en la ventana “Untitled” seleccionaremos el icono “Tables” y presionamos el botón “Add”, en seguida nos aparecerá una ventana que nos pedirá la dirección del archivo de datos que integraremos, es necesario colocar en el desplegable que se encuentra en el lado inferior izquierdo con el nombre de “list File of Tipe” la opción “Delimited Text (*.txt)”, figura 5.88.

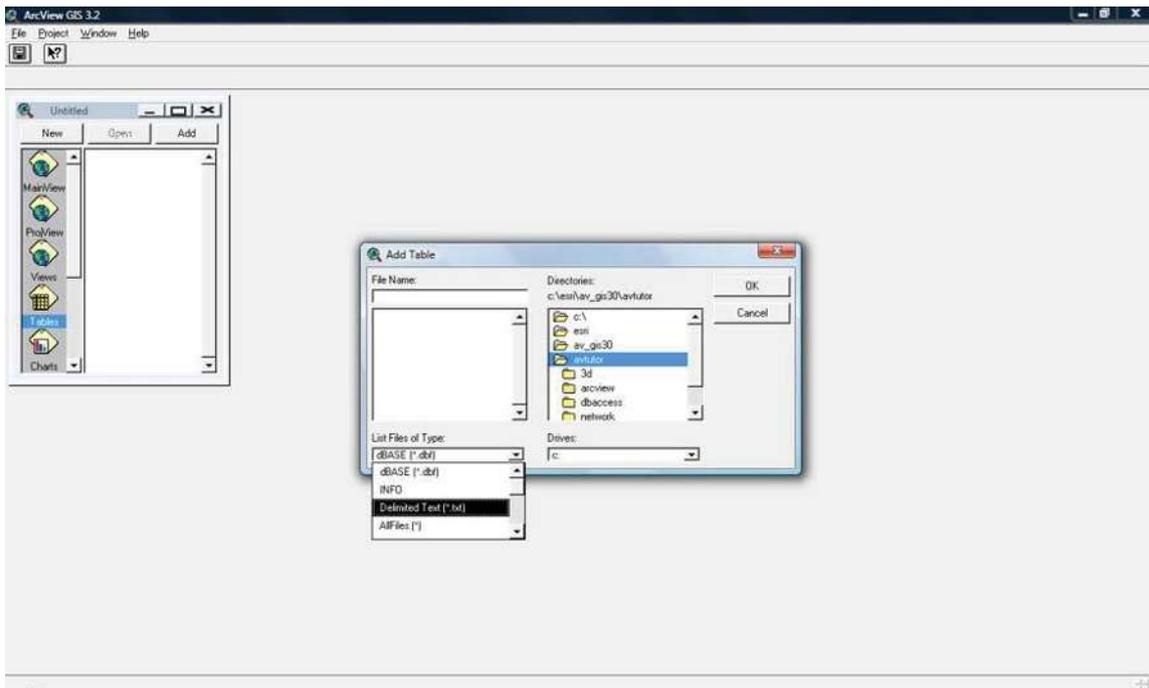


Figura 5.88, Se observa la ventana que nos permitirá buscar el archivo en “.txt”.

Al aceptar el procedimiento anterior, en “ArcView 3.2” nos aparecerán los datos, en seguida nos debemos ir a la ventana de “View” si la tenemos generada, si no es así, debemos generar una, una vez en esta nos vamos al menú “View” y seleccionamos la opción “Add Event Theme”, este procedimiento nos permitirá la observación de las estaciones de acuerdo a sus coordenadas, la opción anterior nos abrirá una ventana en la cual debemos de verificar en los desplegables si la información es correcta, como es el nombre de la tabla y si las coordenadas están correctamente ordenadas, es decir, las “X” con las “X” y las “Y” con las “Y”, una vez verificado lo anterior aceptaremos, el resultado será una capa o tema de puntos, figura 5.89, esta capa o tema debemos de convertirlo a “Shape”.

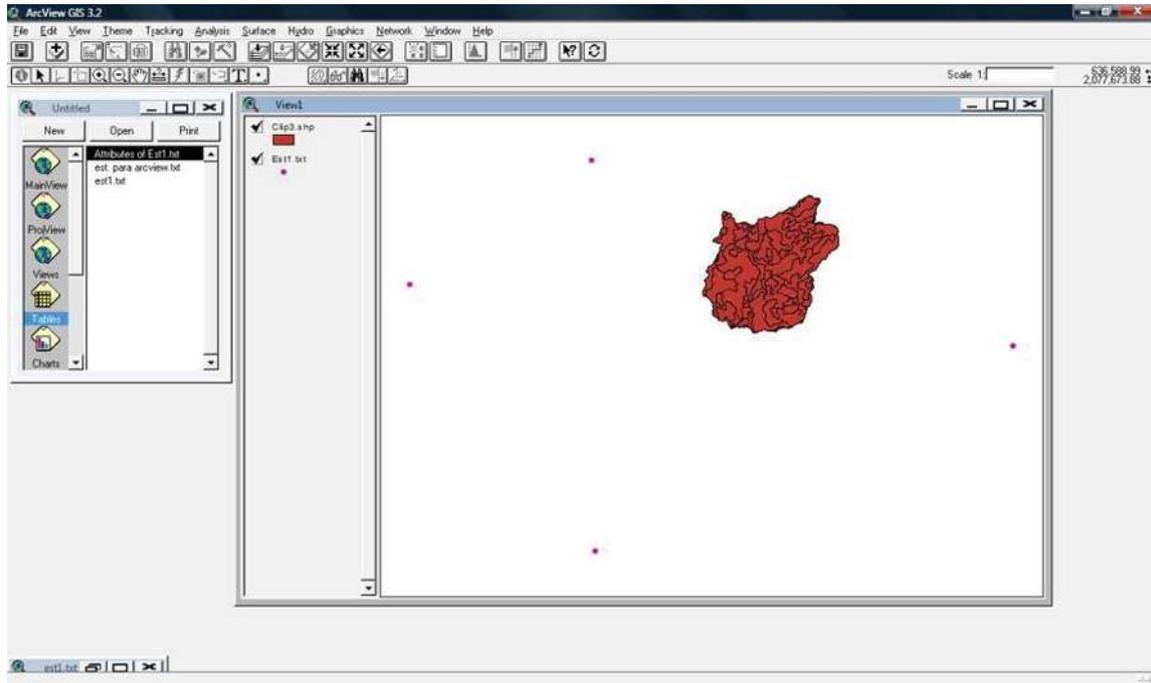


Figura 5.89, Se observan las estaciones, así como la cuenca general en estudio, la cual se cargo a “View” donde se está trabajando.

Como se menciona desde un principio, es posible en algunos casos tener coordenadas geográficas, si supongamos para este “Shape” estuviera en coordenadas geográficas sería necesario realizar su conversión, para esto debemos abrir un complemento de “Arcview 32.”, este lo podemos abrir de dos formas, la primer manera es estando en una ventana “View”, de aquí nos vamos al menú “Them” y en este seleccionamos “ArcView Projection Utility”, figura 5.90, este procedimiento en ocasiones no es tan recomendable porque suele suceder dar a trabar el programa, el resultado será la ventana de la figura 5.91.

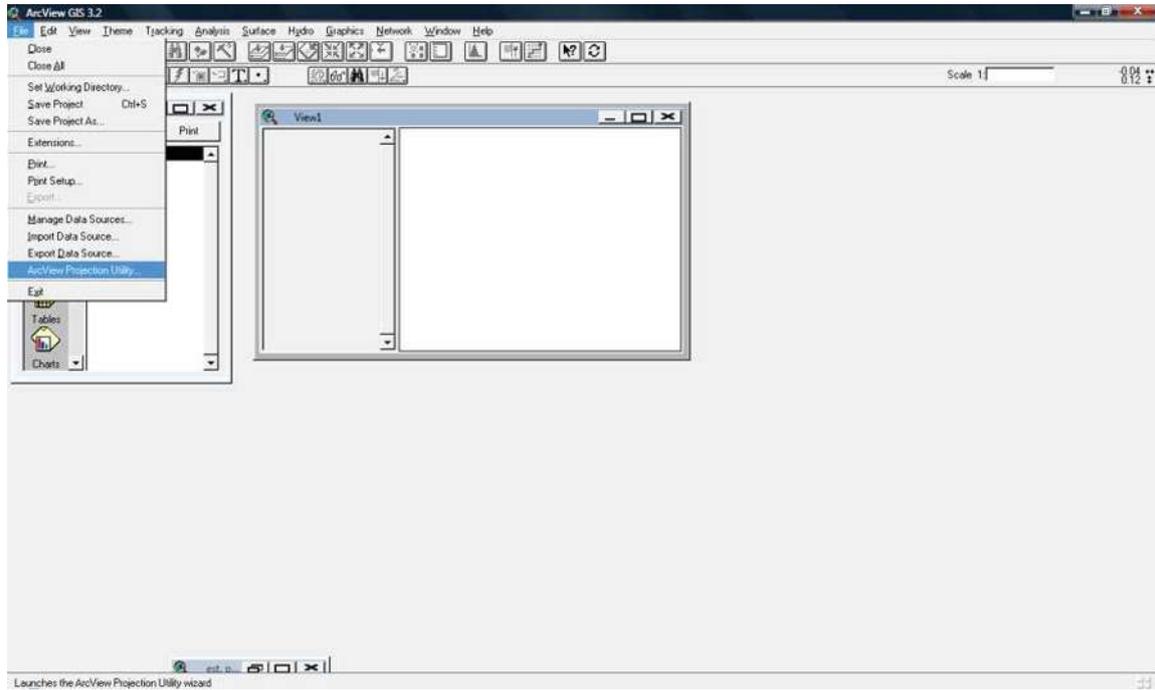


Figura 5.90, Procedimiento para abrir el complemento de “ArcView Projection Utility”.

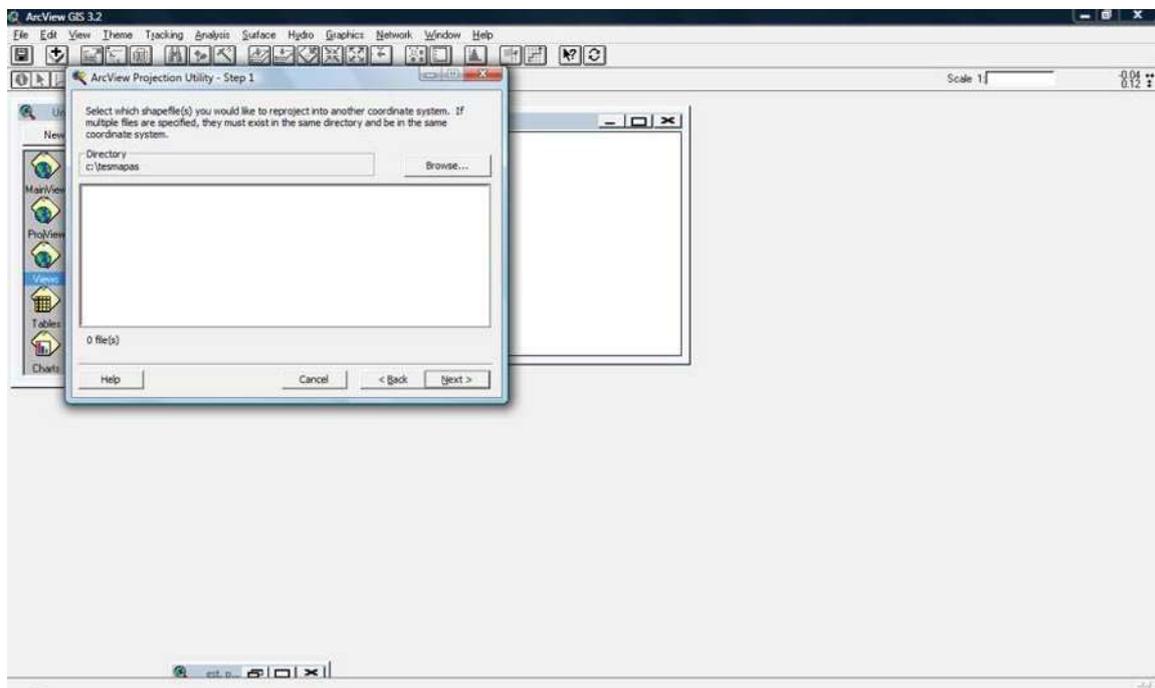


Figura 5.91, Ventana del complemento “ArcView Projection Utility”.

El segundo método para la obtención de la ventana de la figura 5.87, es yéndonos a “inicio”, en este seleccionamos “todos los programas”, a continuación nos vamos a la

carpeta de “ESRI” y en esta seleccionamos “Projection Utility”, el resultado será el mismo que el de la figura 5.91.

En esta ventana daremos clic en el botón de “BROWSE” para buscar el archivo de las estaciones recién generadas, una vez encontrado le daremos doble clic, enseguida este lo pasara a la ventana de la figura 5.91, estando en esta seleccionaremos el archivo y daremos clic al botón “Next”, enseguida aparecerá una ventana donde nos especificará el tipo de coordenadas en el que se encuentra el archivo, figura 5.92.

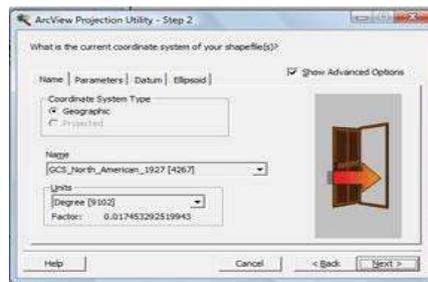


Figura 5.92, Sistema de coordenadas del tema seleccionado.

Al momento de dar “Next” nos aparecerá otra ventana en la cual podremos cambiar las coordenadas de geográficas a UTM, figura 5.93, en esta se colocara en la parte de “Coordinate System Type” la opción de “Projected”, en la parte de “Name” se seleccionara “WGS_1984_UTM_Zone_13N [32613]”, debido a que la carta corresponde a la zona 13 norte, al momento de dar “Next” nos aparecerá una ventana a la cual daremos “No”, esta nos enviara a otra ventana en la cual daremos clic en el botón “Browse” para colocar la dirección donde guardaremos el archivo convertido, al aceptar regresaremos a la ventana anterior y se dará “Next”, en seguida en la nueva ventana que nos aparezca finalizaremos.

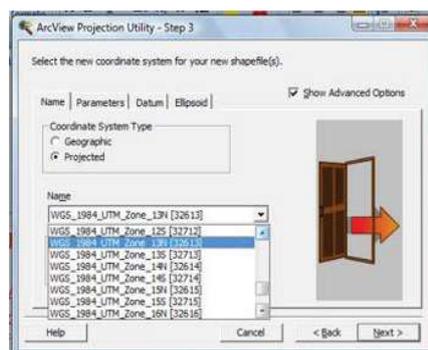


Figura 5.93, Ventana que nos permite realizar el cambio de coordenadas.

Una vez realizado lo anterior, nos vamos a “ArcView 3.2” y abrimos en una nueva “View” el archivo recién generado con coordenadas “UTM”, enseguida abrimos el mapa de las cuencas y nuestro resultado será el observado en la figura 5.89, recordemos que los pasos anteriores se realizan en caso de tener coordenadas diferentes, es decir coordenadas “Geográficas” y coordenadas “UTM”, y realizamos la conversión de las coordenadas “Geográficas” a las coordenadas “UTM”.

B) MAPA DE ESTACIONES INCLUYENDO LA PRECIPITACION MEDIA ANUAL HISTORICA.

Con el tema de las estaciones convertido en “Shape” obtendremos el mapa de precipitación media anual, pero primeramente debemos de generar algunas cosas para llevar un mejor orden.

Debemos abrir la tabla de atributos de las estaciones recién generada, en seguida nos iremos al menú “Table” y en este seleccionaremos “Start Editing”, realizado este procedimiento se nos permitirá modificar la tabla de atributos, de tal forma podremos incluir dos columnas mas, una con el nombre de las estaciones y la otra con la precipitación media, para ello nos iremos al menú “Edit” y en este seleccionaremos “Add Field”, esto nos abrirá la ventana de la figura 5.94, en la cual colocaremos el nombre de la columna (Name) y el tipo de datos a colocar (Type), para el primero se colocara “String” ya que será texto lo que vamos a meter en esta columna, para la columna numero dos que generaremos será “Number”, debido a que se ingresarán números, estos números serán las precipitaciones medias históricas, la forma de colocar el texto o la numeración es dando clic en el icono “Edit”, este tiene la forma , una vez realizado esto daremos clic sobre las celdas que deseamos editar, al terminar la edición debemos de irnos al menú “Table” y en este a “Stop Editing”, en seguida aparecerá una ventana, la cual pregunta si deseamos guardar los cambio y contestaremos “Yes”, el resultado será la figura 5.95

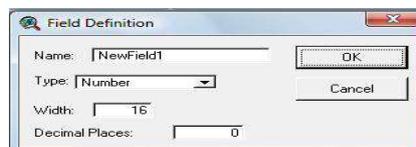


Figura 5.94, Ventana en la cual colocaremos el nombre de la nueva columna, así como el tipo de contenido, es decir, números o texto.

Shape	Codigo	X	Y	nombre	precipitacion
Point	1	670157	2103328.010	guayabo	833
Point	2	640484	2082789.186	callejones	892
Point	3	670742	2038768.679	aguila	1124
Point	4	738997	2072716.348	aguilla	1008

Figura 5.95, Muestra las dos columnas realizadas con el procedimiento anteriormente descrito.

V.2 PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCION DE DATOS, DE UN MODELO LLUVIA ESCORRENTIA.

V.2.1 PARAMETROS HIDROMORFOMETRICOS OBTENIDOS DE LOS MAPAS.

A) AREA DE LA CUENCA "A"

Primeramente debemos de trabajar en una nueva "View", en esta debemos de tener la capa correspondientes a las cuencas, figura 5.56, debemos de colocar las unidades, en seguida abrimos la tabla de atributos de este tema y una vez hecho lo anterior, creamos una nueva columna con el nombre de "área", para la cual el tipo de datos serán números, una vez realizado lo anterior nuestro paso a seguir es volver a la tabla, teniendo seleccionada la nueva columna, vamos al menú "Field", en este encontraremos la opción de "Calculate", la cual seleccionaremos, y nos aparecerá una ventana a la cual seleccionaremos con doble clic en la parte izquierda a "[Shape]", en seguida en la parte inferior nos aparecerá en un recuadro en blanco con la opción anteriormente seleccionada, en este se escribirá en seguida de [Shape] el comando ".ReturnArea", de tal manera que la indicación nos quedara de esta manera "[Shape].ReturnArea", figura 5.96, enseguida aceptamos y detenemos la edición "Table – Stop Editings", en la ventana que nos aparece si deseamos guardar damos "Yes" nuestro resultado será el mostrado en la figura 5.97.

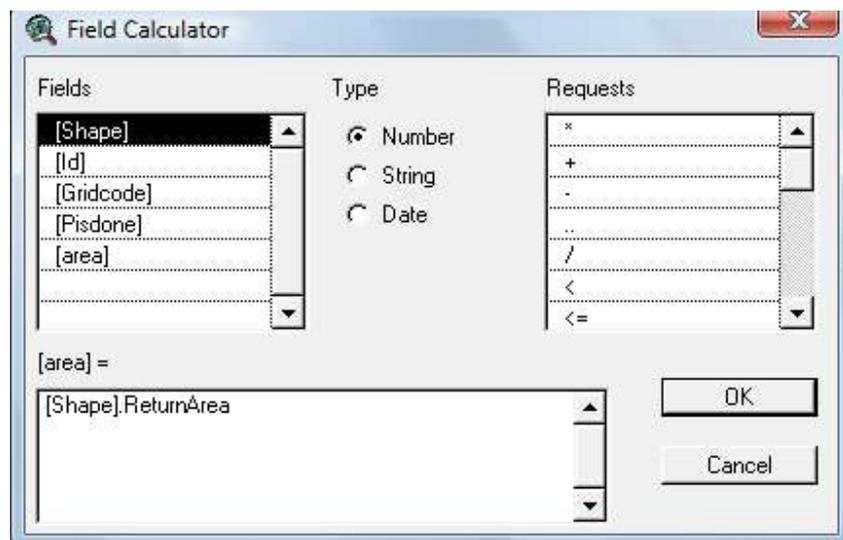
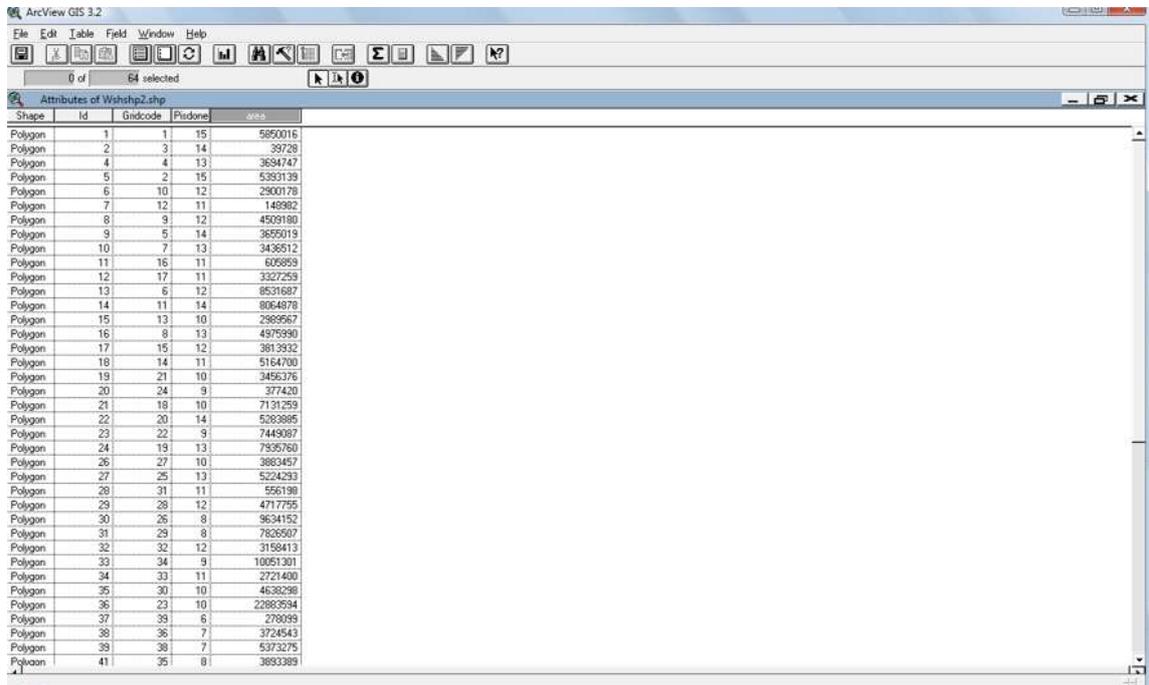


Figura 5.96, Muestra la opción que nos permitirá determinar el área.



Shape	Id	Gindcode	Pindone	area
Polygon	1	1	15	5850016
Polygon	2	3	14	39728
Polygon	4	4	13	3694747
Polygon	5	2	15	5353139
Polygon	6	10	12	2500178
Polygon	7	12	11	148362
Polygon	8	9	12	4599180
Polygon	9	5	14	3655019
Polygon	10	7	13	3436512
Polygon	11	16	11	605859
Polygon	12	17	11	3327259
Polygon	13	6	12	8531687
Polygon	14	11	14	8064878
Polygon	15	13	10	2989567
Polygon	16	8	13	4975990
Polygon	17	15	12	3813532
Polygon	18	14	11	5164700
Polygon	19	21	10	3456376
Polygon	20	24	9	377420
Polygon	21	18	10	7131259
Polygon	22	20	14	5283885
Polygon	23	22	9	7449087
Polygon	24	19	13	7356760
Polygon	26	27	10	3883457
Polygon	27	25	13	5224293
Polygon	29	31	11	556198
Polygon	29	28	12	4717755
Polygon	30	26	8	9634152
Polygon	31	29	8	7826507
Polygon	32	32	12	3158413
Polygon	33	34	9	10051301
Polygon	34	33	11	2721400
Polygon	35	30	10	4638298
Polygon	36	23	10	22883594
Polygon	37	39	6	278099
Polygon	38	36	7	3724543
Polygon	39	38	7	5373275
Polygon	41	35	8	3893389

Figura 5.97, Muestra el área calculada por el programa, las unidades serán las que el usuario haya colocado, en esta ocasión se encuentra en metros.

El área total de la cuenca la podemos calcular realizando una suma de todas las anteriores áreas, esto se realiza de la siguiente manera:

Primeramente activamos la edición, “Table – Start Editing”, en seguida debemos de seleccionar la columna “id”, la cual se selecciona simplemente dando un clic sobre de “id”, una vez realizado esto daremos clic en el icono “Summarize” , nos aparecerá una ventana, en la cual se tendrán 2 desplegables, en el primero se colocara el nombre de la columna que deseamos sumar y en el segundo la operación que se desea, en este caso “Sum”, enseguida daremos clic en “Add”, figura 5.98.

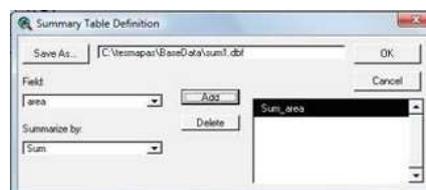
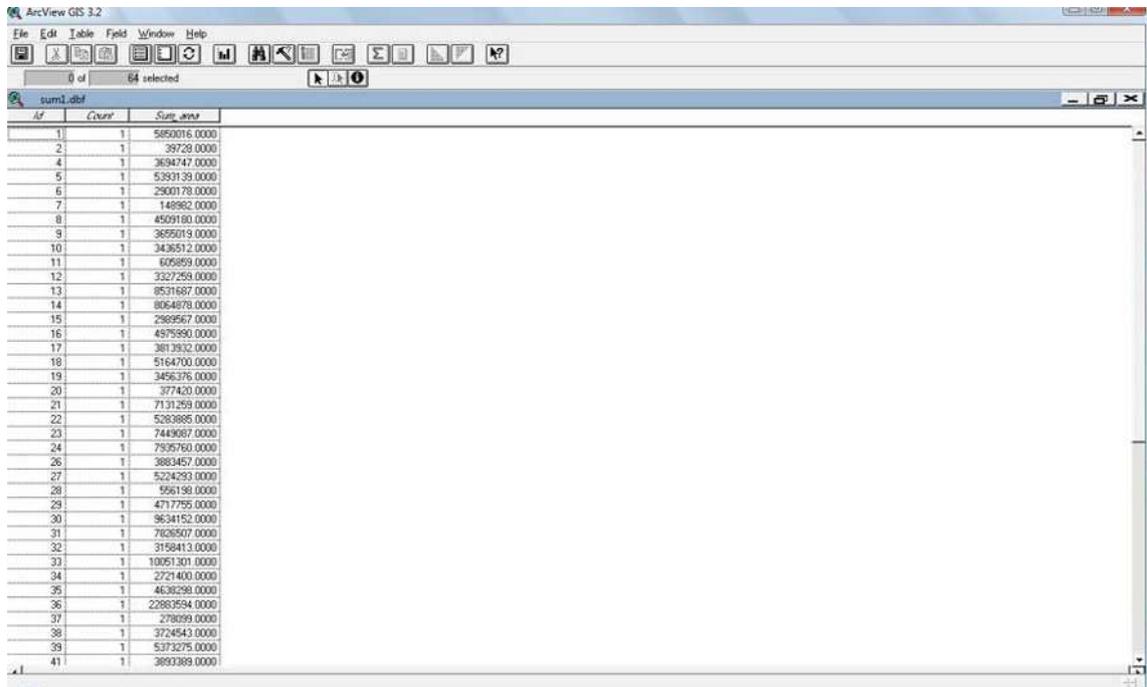


Figura 5.98, Muestra la manera como debe de quedar la ventana, antes de aceptar.

En esta ventana podemos dar la ruta a guardar la tabla que se va a crear, dando “clic” en “Save As”, en el capítulo V.1.2, en el subcapítulo “CLASIFICACION DEL TIPO DE SUELO” se encuentra más explícito este procedimiento.

Una vez que se acepte nuestro resultado será una columna llamada “count” la cual tendrá solo valores de 1, figura 5.99.

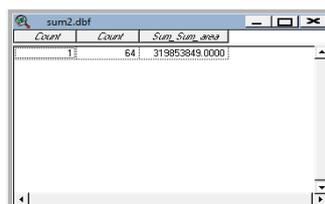


The screenshot shows the ArcView GIS 3.2 interface. The main window displays a table with the following data:

id	Cuenc	Sum_area
1	1	5650016.0000
2	1	39728.0000
4	1	3694747.0000
5	1	5393139.0000
6	1	2500178.0000
7	1	148962.0000
8	1	4599160.0000
9	1	3655019.0000
10	1	3436512.0000
11	1	605689.0000
12	1	3327259.0000
13	1	8531687.0000
14	1	8064678.0000
15	1	2369567.0000
16	1	4575990.0000
17	1	3813932.0000
18	1	5164700.0000
19	1	3456376.0000
20	1	377420.0000
21	1	7131259.0000
22	1	5283886.0000
23	1	7449067.0000
24	1	7535760.0000
26	1	3883457.0000
27	1	5224293.0000
28	1	556198.0000
29	1	4717795.0000
30	1	9634152.0000
31	1	7628507.0000
32	1	3158413.0000
33	1	10051301.0000
34	1	2721400.0000
35	1	4638298.0000
36	1	22863594.0000
37	1	278059.0000
38	1	3724543.0000
39	1	5373275.0000
41	1	3893389.0000

Figura 5.99, Columna incluida “Count” con solo valores de uno.

Enseguida realizamos el procedimiento anterior pero ahora el único cambio es tener seleccionada la columna “Count” y en la ventana se trabajara con la columna “Sum_area”, nuestro resultado será el mostrado en la figura 5.100.



The screenshot shows a summary table for 'sum2.dbf' with the following data:

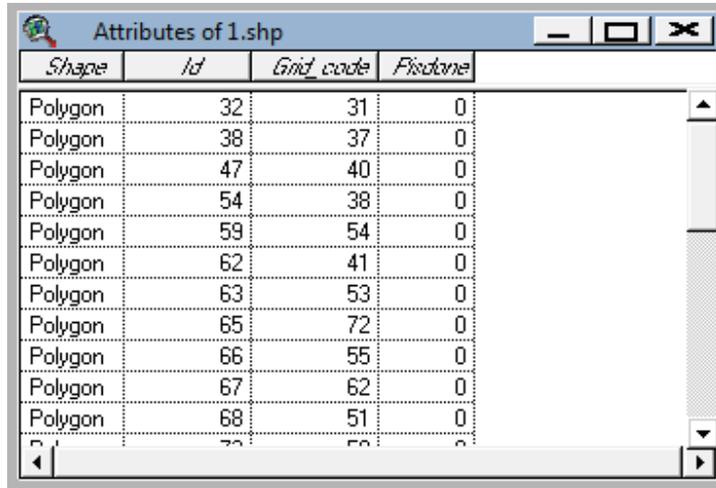
Count	Count	Sum_Sum_area
1	64	315853849.0000

Figura 5.100, Resultado de la suma de todas las áreas.

Los procedimientos para la obtención de áreas si se desea hacer para las figuras 5.20 y 5.69 son los pasos mencionados anteriormente.

Enseguida se trabajo para la obtención del área de las 4 cuencas de la figura 5.71, recordemos tener unidades y no tener seleccionado o seleccionada ninguna cuenca porque de lo contrario solo obtendríamos resultados de la selección seleccionada, cada cuenca se trabajo por separado dándonos los resultados siguientes en longitud y área. La primer cuenca en la que trabajaremos será en la mayo o más grande “Cuenca Rio Grande”, lo primero a realizar es observar la tabla de atributos para la identificación

de una columna que contenga datos en común o iguales, para nuestro caso fue la columna “Pisdone”, figura 5.101.



Shape	Id	Grid code	Pisdone
Polygon	32	31	0
Polygon	38	37	0
Polygon	47	40	0
Polygon	54	38	0
Polygon	59	54	0
Polygon	62	41	0
Polygon	63	53	0
Polygon	65	72	0
Polygon	66	55	0
Polygon	67	62	0
Polygon	68	51	0
Polygon	70	50	0

Figura 5.101, muestra la tabla de atributos para la cuenca Rio Grande.

La obtención de la columna en común nos servirá para la disolución de las cuencas y así tener solamente una cuenca en general y no tener las diversas cuencas figura 5.102, que sería la denominada “Cuenca Rio Grande”.

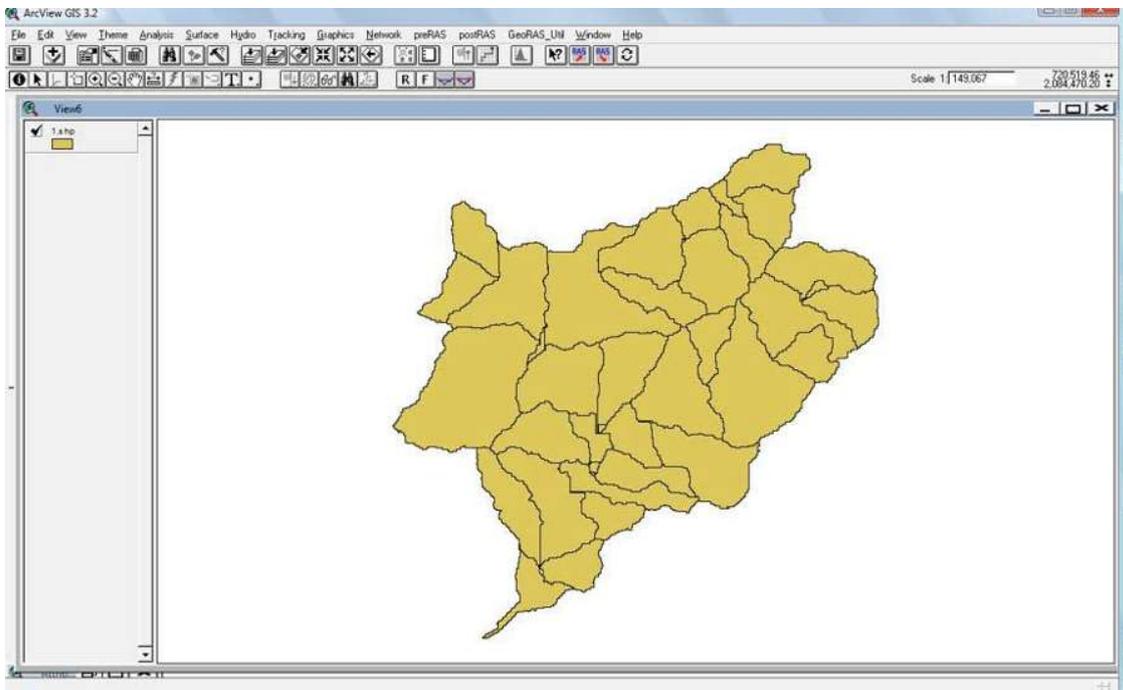


Figura 5.102, Cuenca Rio Grande, con todas las subcuentas que la conforman.

Nuestro siguiente paso a realizar es la obtención de la cuenca general pero ya disuelta, esto lo realizamos con la extensión “GeoProcessing Wizard”, con la primera opción, figura 5.103.

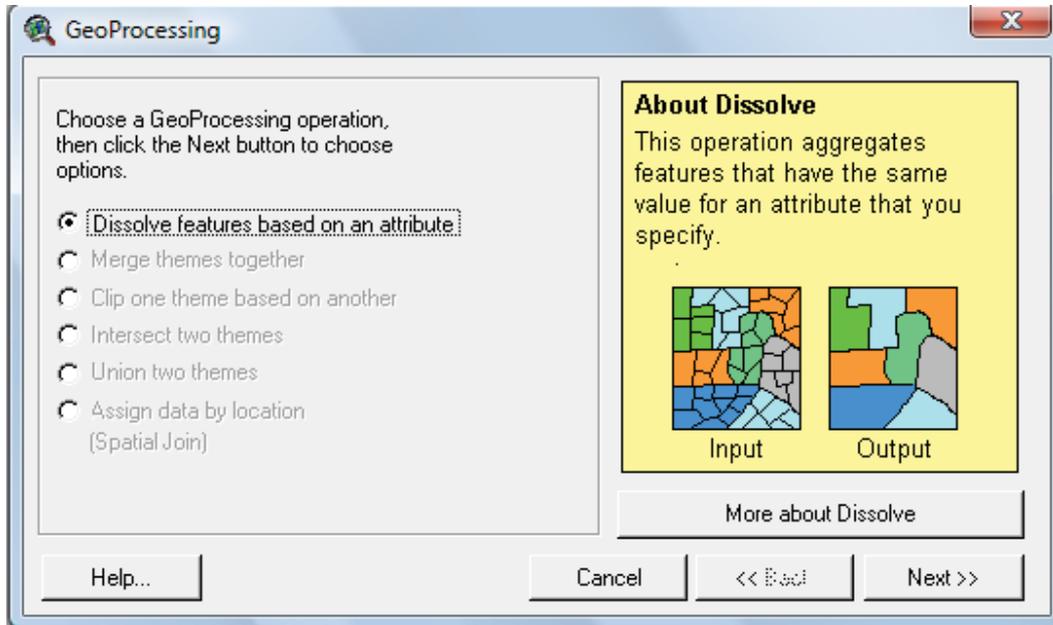


Figura 5.103, Muestra la selección de la primera opción para la disolución de las subcuencas.

Enseguida daremos un clic en “Next” y nos aparecerá una ventana en la cual seleccionaremos en el primer desplegable el “Shape” para disolver, en nuestro caso solo aparece una en este desplegable, ya que solo tenemos un solo “Shape” en la “View” de trabajo, en el segundo desplegable seleccionaremos la columna en común “Pisdone” figura 5.104, enseguida se guardará este nuevo “Shape” donde el usuario desee, esto es dando clic sobre la carpeta como anteriormente ya se ha realizado.

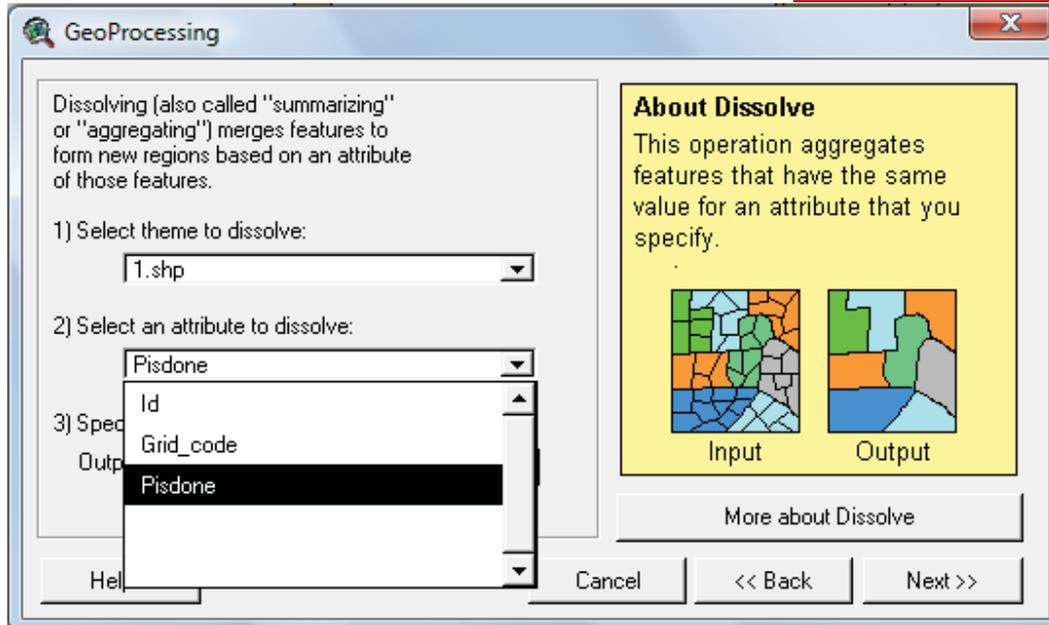


Figura 5.104, Se observan los dos desplegables con sus respectivas opciones.

En seguida daremos “Next”, al momento aparecerá otra ventana la cual nos permite seleccionar las columnas de información que en un cierto momento pudiéramos ocupar pero para nuestro caso no es necesario seleccionar ninguna, por lo cual daremos “finish”, figura 5.105.

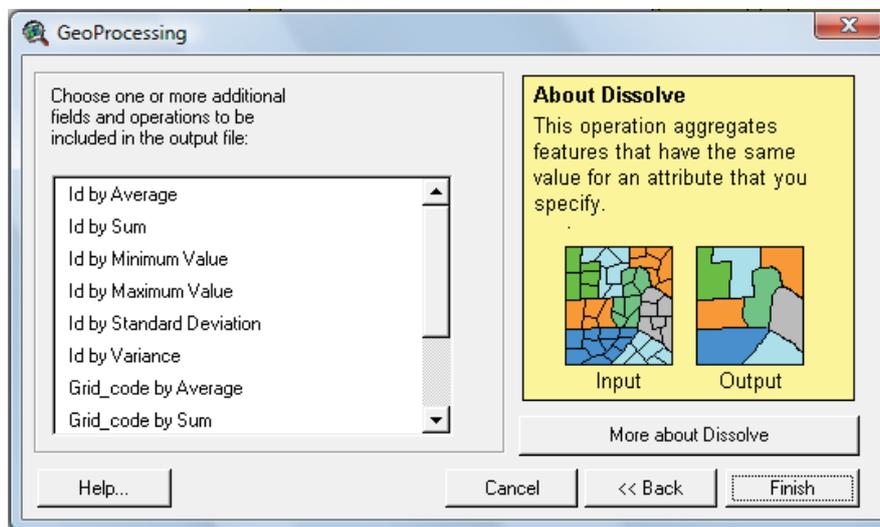


Figura 5.105, Ventana en la cual podemos seleccionar las columnas a integrar de información.

El resultado de este proceso se puede observar en la figura 5.106.

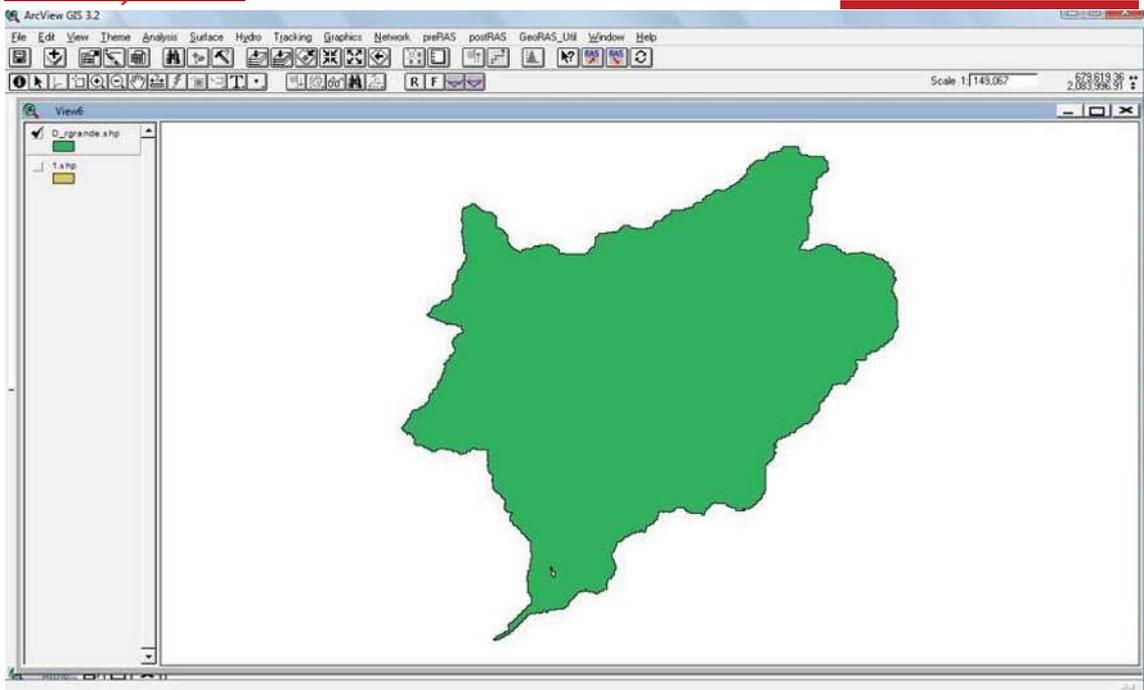


Figura 5.106, Cuenca ya disuelta.

Por último realizaremos el procedimiento anteriormente mencionado para la obtención del área de la cuenca, dándonos un resultado de 237392500 m² o 237.392500 km².

Para las 3 cuencas faltantes se realiza el mismo procedimiento teniendo como resultado los valores siguientes:

Cuenca Rio Apamila con 52317500 m² o 52.317500 km².

Cuenca Rio Chiquito con 26245000 m² o 26.245000 km².

Cuenca Arroyo de las Animas con 6610000 m² o 6.610000 km².

Con las cuencas generadas con la extensión “Hidrologic Modeling V11”, se sigue el siguiente procedimiento.

Primeramente en la tabla de atributos de cada cuenca en estudio debemos de crear una columna con cualquier nombre, en nuestro caso “Comun” será el nombre de nuestra columna, esto se realiza porque debemos tener una columna en común para la fusión de subcuencas, enseguida se muestra un ejemplo de esto con la tabla de atributos de la Cuenca Rio Grande, figura 5.107.

Perimetro	Area	Areaales	Basinarea	comun
13600	4970	1809.02	14.448	0
200	5573	1683.34	16.450	0
200	8200	1634.41	21.826	0
8900	2914	1867.91	15.429	0
10100	3959	1778.14	13.473	0
13100	4725	1886.22	16.987	0
3300	5228	1465.18	10.355	0
0	0	0.00	0.000	0
13200	4197	1444.25	19.160	0
11200	4383	1816.91	14.716	0
7100	2523	2203.85	11.952	0

Figura 5.107, Muestra la columna agregada con valores iguales para poder realizar la disolución de las subcuencas de la Cuenca Rio Grande.

En seguida realizaremos la disolución para cada cuenca con la ayuda de “GeoProcessing Wizard”, la diferencia en este caso es al momento de cuando nos aparece la ventana en la cual seleccionaremos las columnas a agregar, es aquí donde se escogerán las diferentes columnas de información que deseamos, por ejemplo la suma de áreas, figura 5.108.

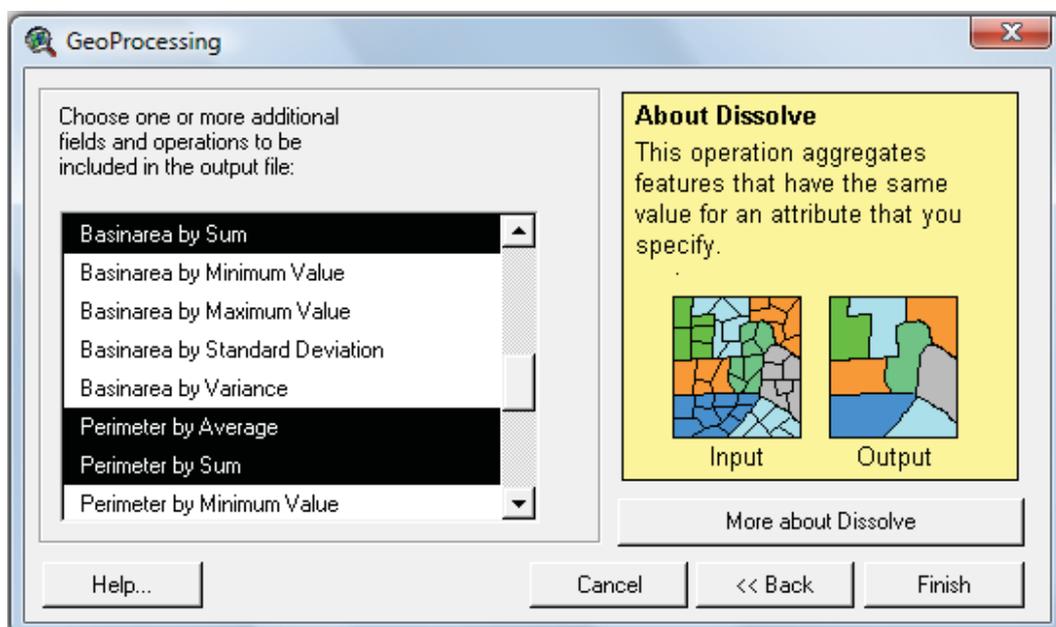


Figura 5.108, Ventana en la cual seleccionaremos las columnas de información que nos interesa.

Al momento de finalizar extrayendo la información de interés para nuestro caso, como es la suma de áreas, la tabla de propiedades será de la siguiente forma, figura 5.109.

Shape	Count	Sum_Basinarea	Ave_Perimeter	Sum_Perimeter	StdDev_Perimeter	Var_Perimeter	Sum_Midlot	Ave_Meanalev	Sum_Meanalev	Ave_Basinlot	Sum_Basinlot
Polygon	131	222060000.0000	6949.6183	910400.0000	4560.9104	20801903.6994	905652.0000	1342.4837	175865.3700	14.6150	914.56

Figura 5.109, Tabla de propiedades de la Cuenca Rio Grande.

De la manera anterior obtenemos para cada cuenca el área en estudio dándonos como resultado los siguientes valores:

Cuenca Rio Grande, 222060000 m² o 222.060000 km².

Cuenca Rio Apamila, 38052500m² o 38.052500 km².

Cuenca Rio Chiquito, 26242500 m² o 26.242500 km².

Cuenca Arroyo de las Animas, 6925000 m² o 6.925000 km².

B) PERIMETRO DE LA CUENCA “P”

En este caso trabajaremos con la figura 5.20, los procedimientos son los mismos para cualquier otra figura en la obtención del perímetro, abriremos una nueva “View” y en esta llamaremos a dicha figura, no olvidar la colocación de unidades, nos iremos a su tabla de atributos, formaremos una nueva columna “Perímetro” y abriremos la calculadora, en esta la ecuación será “[Shape].ReturnLength”, figura 5.110, el resultado de los perímetros puede ser observado en la figura 5.98, después podemos detener la edición.

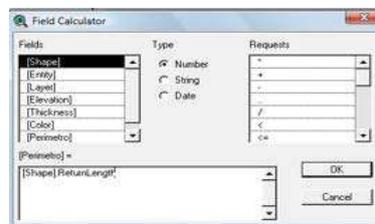


Figura 5.110, Ventana de la calculadora con la ecuación a utilizar.

Shape	Etype	Layer	Elevation	Thickness	Color	Perimeter
Polygon	Polyline	poblado	0.00000	0.00000	28	7712
Polygon	Polyline	P. Apamila	0.00000	0.00000	10	33280
Polygon	Polyline	P. Las animas	0.00000	0.00000	20	11718
Polygon	Polyline	P. RIO CHIQUITO	0.00000	0.00000	222	24572
Polygon	Polyline	P. Rio Grande	0.00000	0.00000	30	81744

Figura 5.111, Muestra los perímetros para cada cuenca, al igual para el poblado.

Para la obtención de los perímetros de las cuencas de la figura 5.71 es de la misma manera anteriormente mencionado, dándonos los resultados siguientes:

Cuenca Rio Grande, 111900 m.

Cuenca Rio Apamila, 54300 m.

Cuenca Rio Chiquito, 32700 m.

Cuenca Arroyo de las Animas, 14900 m.

Ahora hablaremos sobre las cuencas generadas con la extensión “Hidrologic Modeling V11”, al momento de realizar la disolución se nos permitía colocar las columnas de información que deseamos, pero esta información solo era la suma o nos podía mostrar el perímetro máximo o el mínimo, por lo cual es recomendable determinar el perímetro con el anterior procedimiento, dándonos los siguientes resultados:

Cuenca Rio Grande, 112000 m.

Cuenca Rio Apamila, 45200 m.

Cuenca Rio Chiquito, 32700 m.

Cuenca Arroyo de las Animas, 15300 m.

C) LONGITUD DE LA CORRIENTE PRINCIPAL “L”

En una nueva “View”, llamaremos al “Grid” del MDE de la figura 5.11, también llamaremos el mapa que nos muestra las corrientes de la figura 5.51, nuestro objetivo es obtener el perfil de la corriente, seleccionamos las unidades, enseguida seleccionaremos el tema del “Grid” y daremos clic en el icono “Interpólate Line” , enseguida comenzaremos a trazar una línea sobre la corriente principal, esto se hace dando un clic izquierdo cada que se quiera un vértice, con un doble clic se termina de dibujar la línea, mientras más nos apeguemos al trazo de la corriente principal, mejor saldrá nuestro perfil, figura 5.112.

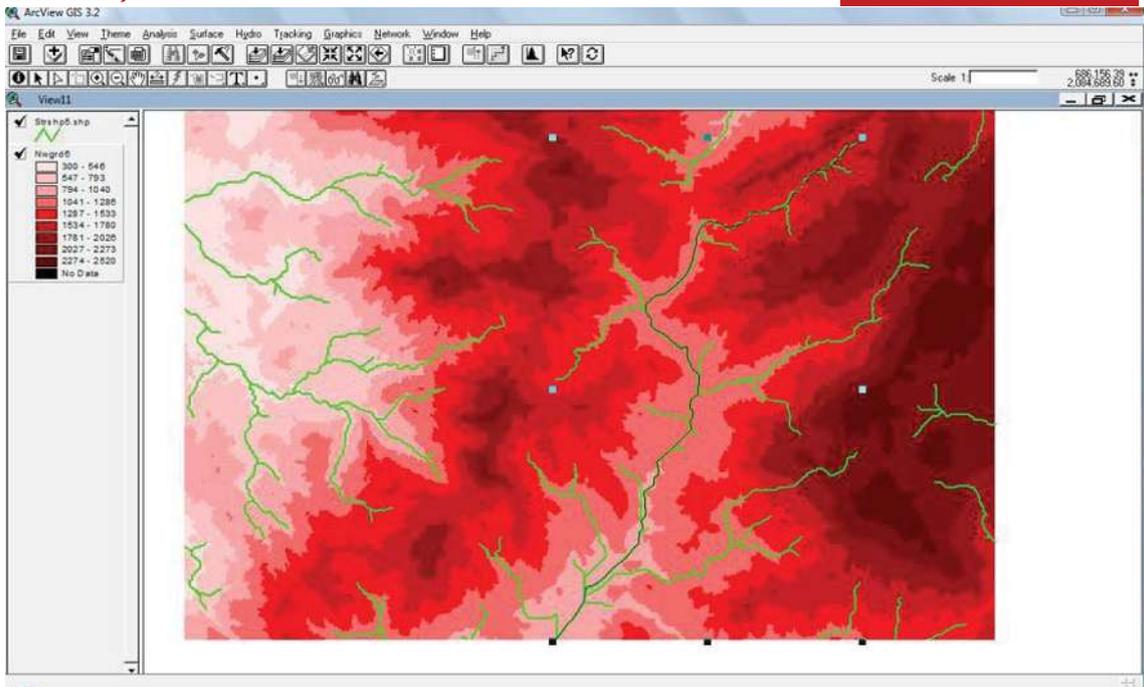


Figura 5.112, En la figura se puede observar el trazo realizado, como este no está exactamente por la corriente, es de suponerse que existirán algunos problemas en la forma del perfil.

Enseguida debemos de crear una ventana en “Layouts”, el procedimiento para la creación de esta es similar al de las “View”, solo que ahora se debe de dar doble clic en el icono “Layouts” , en esta ventana se dará clic al icono “Profile Graph” , con un clic izquierdo se colocara el extremo superior izquierdo del perfil y con el otro daremos el extremo inferior derecho, dando así el tamaño de la imagen del perfil, figura 5.113.

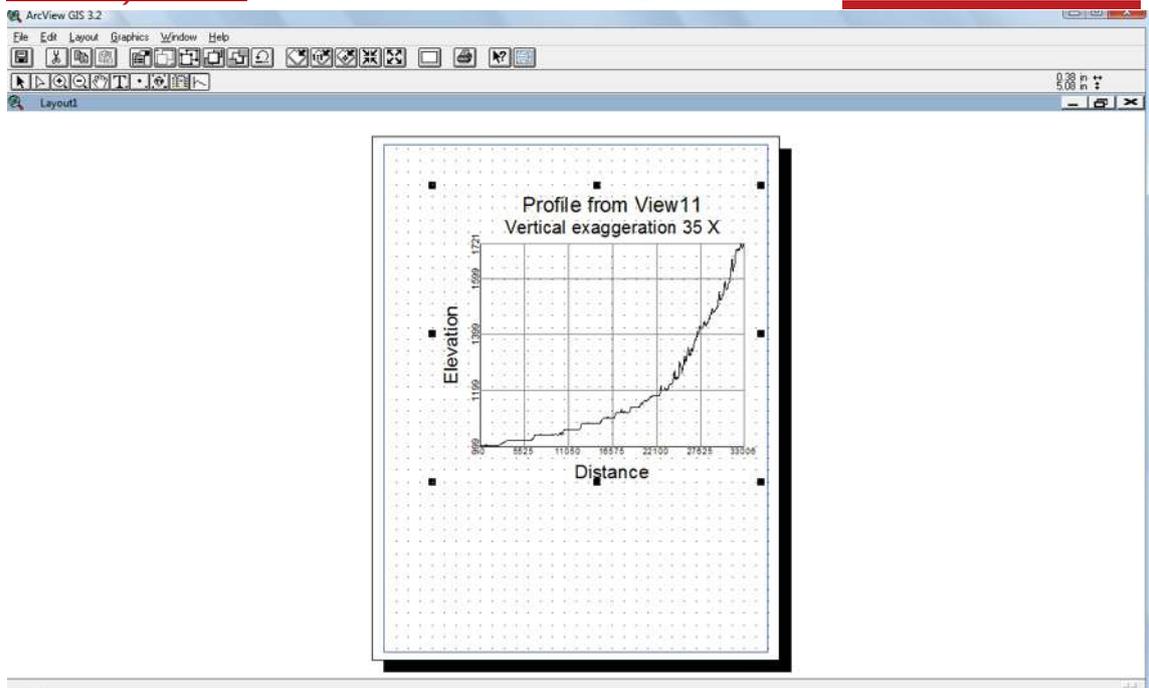


Figura 5.113, Gráfico del perfil, los errores claramente observados son por no generar exactamente la corriente principal.

Para la obtención de la pendiente media se realiza una división entre el desnivel entre los extremos de la corriente (elevation) entre su longitud media en planta (distance), eso se puede observar en la siguiente formula.

$$\frac{\text{elevation}}{\text{distance}} = \text{pendiente media}$$

En nuestro caso la ecuación así como la pendiente queda de la siguiente manera.

$$\frac{792}{33006} = 0.0239956 \quad \text{Lo cual es equivalente a una pendiente de 2.4 por ciento.}$$

Para la obtención de la longitud de la corriente es necesario trabajar solamente con la figura 5.51, en esta seleccionaremos solo la corriente principal con el icono "Select Feature" , nuestro resultado será el de la figura 5.114.

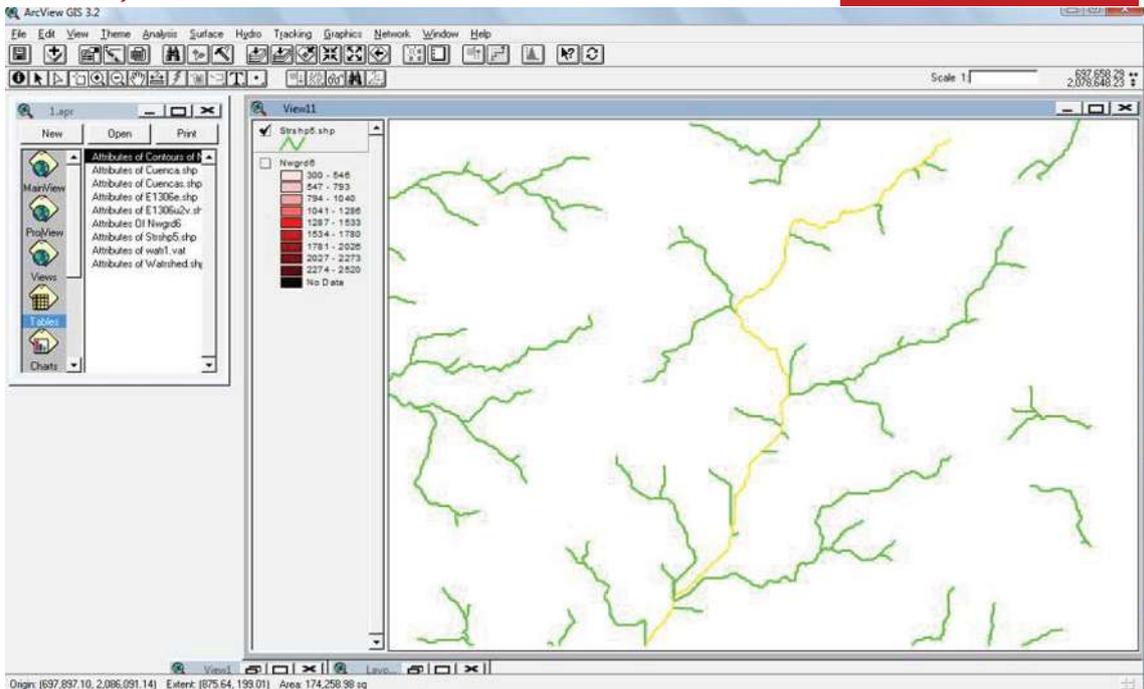


Figura 5.114, Selección del cauce principal.

Con esta selección crearemos un “Shape”, así solo tendremos la corriente principal, figura 5.115.

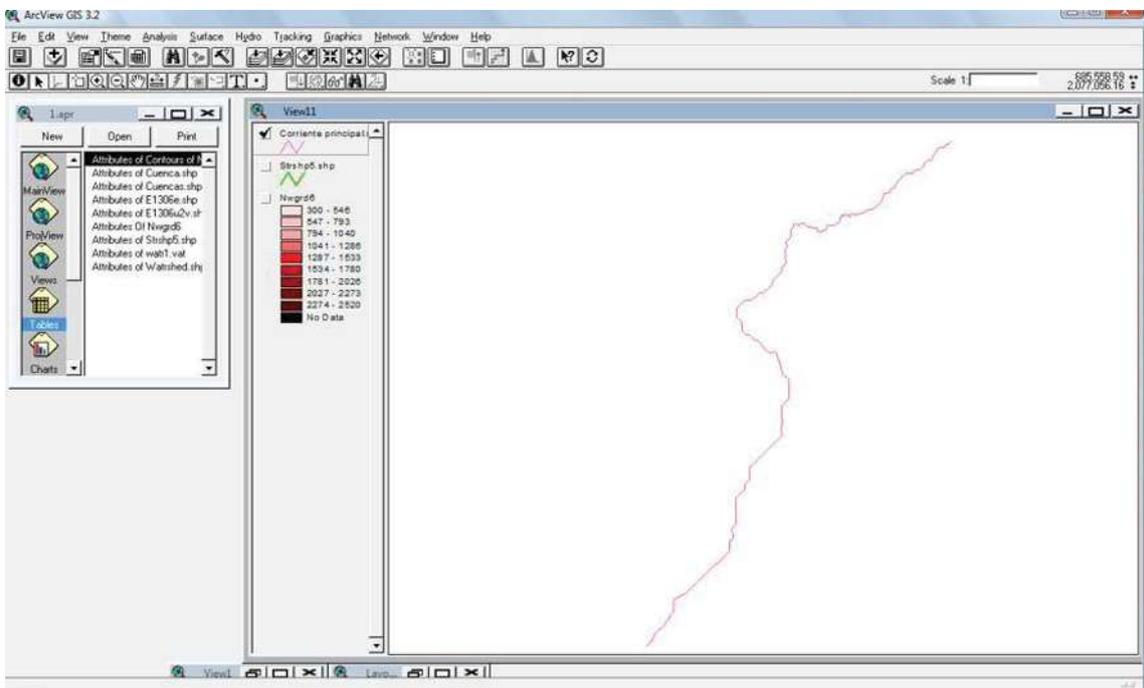
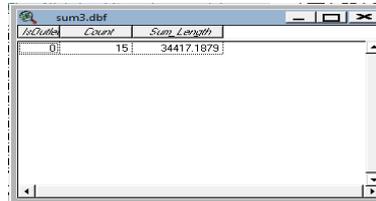


Figura 5.115, “Shape” formado de la corriente principal.

Enseguida nos vamos a la tabla de atributos y en esta realizaremos la suma de la longitud la cual corresponde a la columna “Length”, anteriormente se mostro como realizar las sumas, el resultado de esta suma lo podemos observar en la figura 5.116.



Count	Sum_Length
15	34417.1879

Figura 5.116, Suma de la columna de longitud, esta suma es la longitud de la corriente principal.

V.2.2 NUMERO DE CURVA DE ESCURRIMIENTO (N) OBTENIDO DE LOS MAPAS.

A) OBTENCION DE LOS MAPAS DE PENDIENTES MAYORES Y MENORES AL 1%.

Ya obtenido el mapa de la cuenca a estudiar es recomendable obtener los mapas de pendiente menor y mayor al 1%, con la figura 5.25 (aclarando que los siguientes procedimientos son en la ventana “View”) esto se hace de la siguiente manera:

1.- En una ventana nueva o puede ser en una ya existente (depende del orden de cada persona): Se llama al mapa de pendientes en formato “Grid”, este fue obtenido con la herramienta de “Hec_GeoHMS 1.1” ó

2.- Se llama al mapa de la cuenca en estudio en formato “Grid”, figura 5.44, y se convierte a mapa de pendientes de la siguiente manera, se selecciona el mapa y nos vamos a la pestaña “Surface – Derive Slope”, figura 5.117.

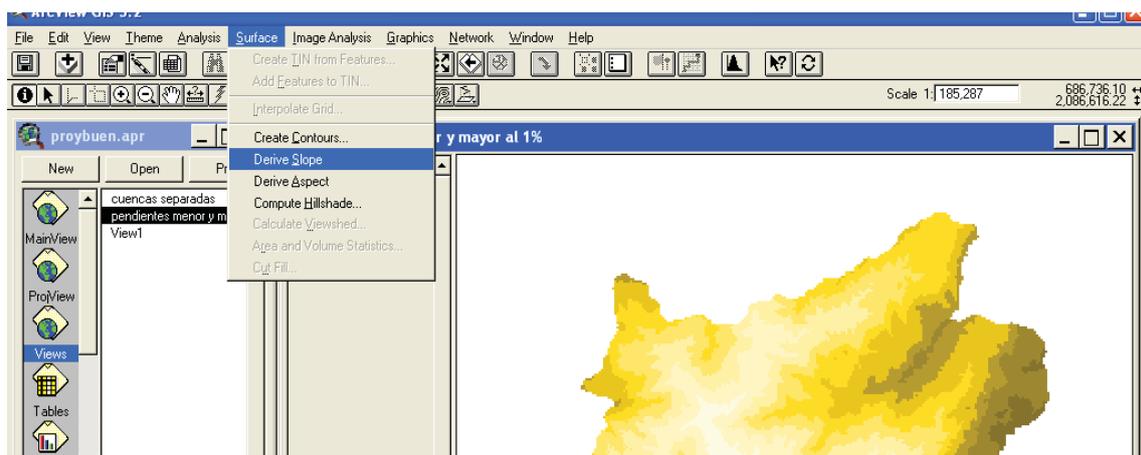


Figura 5.117, Pestaña mostrando la opción “Derive Slope”.

A continuación se mostrará una comparativa entre ambos pasos, de esta manera se observará la diferencia entre cada procedimiento pero las propiedades entre ambos mapas son las mismas, figura 5.118 a, paso 2 y figura 5.118 b, paso 1.

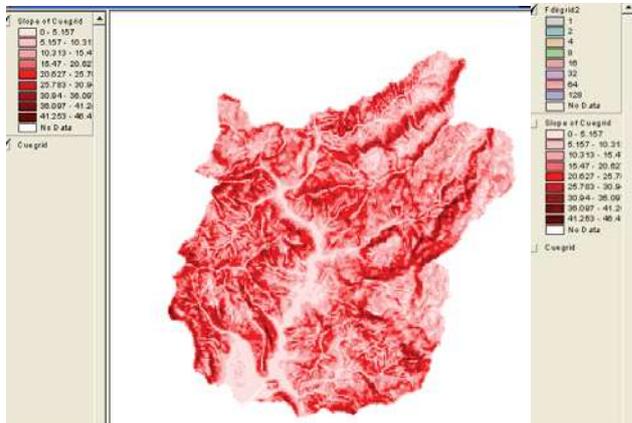


Figura 5.118 a



Figura 5.118 b

Se observa el resultado de ambos procedimientos, las figuras no son similares en cuanto a los colores pero las propiedades son las mismas.

Ahora obtendremos los mapas de las pendientes menor y mayor al 1%, el siguiente paso es seleccionar el mapa de pendientes y nos vamos a la pestaña “Analisis – Reclassify”, figura 5.119.

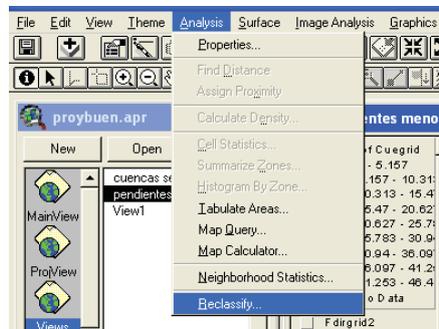


Figura 5.119, Muestra la pestaña con la opción para reclasificar el Mapa de pendientes.

Siguiente a este paso nos mostrará otra ventana con otras propiedades, figura 5.120.

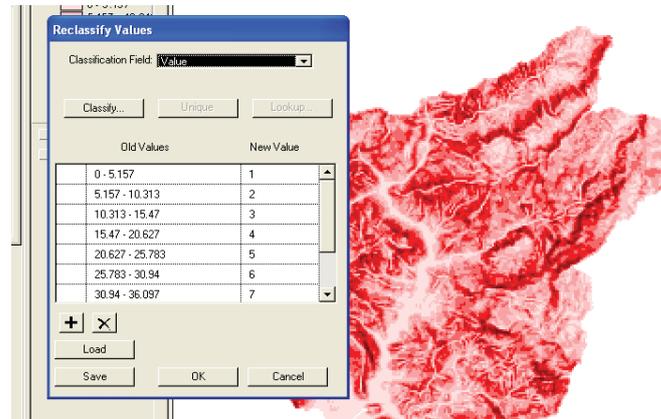


Figura 5.120, Esta ventana nos permitirá realizar la reclasificación.

En esta ventana nos aparece una lista con 9 valores, en la columna izquierda primer renglón nos muestra los valores que van del 0 al 5% de pendiente, así que nos vamos al botón de “Classify” y le damos valores de tal forma que la pendiente nos quede entre los valores del 0 al 1% ó lo más aproximado posible, figura 5.121, solamente en el primer renglón.

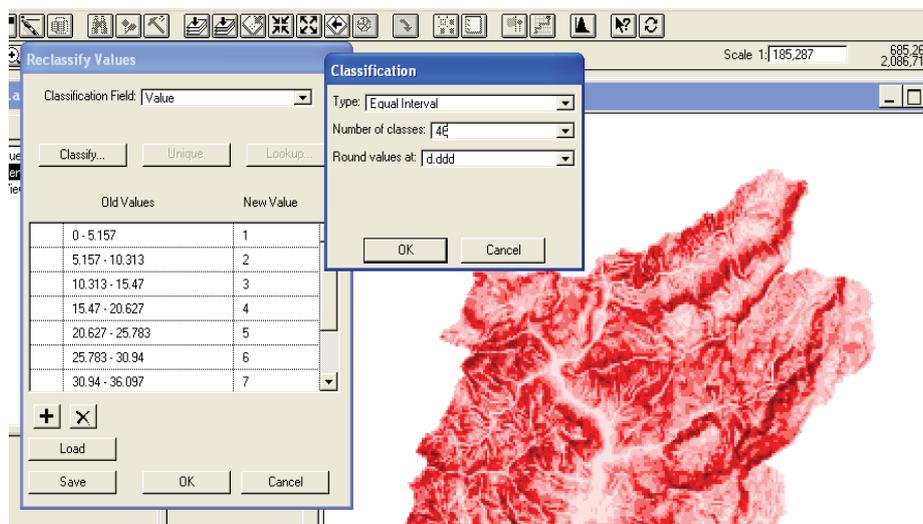


Figura 5.121, Mientras mayores sean los valores colocados en “Number of classes” más pequeños serán los intervalos de pendientes, el máximo número que se puede colocar es de 64.

En este caso para que la pendiente quedara entre 0 y 1 % se obtuvo un valor de 46 números y se presiona “OK”, regresaremos a la ventana anterior y nos aparecerán las 46 filas que encontramos como número para una pendiente cercana al 1%, en esta ventana es necesario dejar solamente el valor de uno al primera renglón perteneciente a la segunda columna y hacer 0 todos los demás renglones pertenecientes a dicha columna, figura 5.122, esto se puede hacer solo dando clic sobre la celda que se desea modificar y colocando el numero que se desea, en seguida se debe de dar “Enter”.

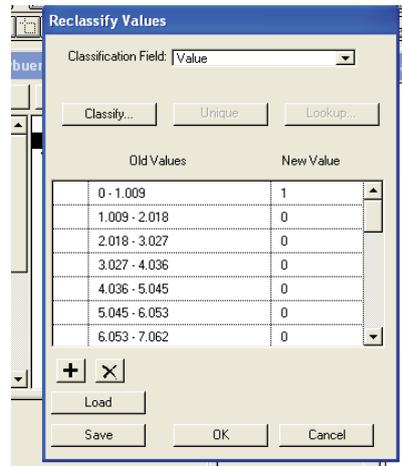


Figura 5.122, Valores modificados de las celdas que se encuentran en la segunda columna, quedando para las pendientes de 0-1 un valor de “1” y para los demás intervalos “0”.

Hecho este procedimiento nos mostrará el mapa con pendientes menores al 1%, como recomendación, ya después de haber obtenido el mapa, se le da el nombre de “pendientes < 1%”, el procedimiento fue explicado anteriormente, para más adelante ubicarlo más fácilmente, figura 5.123.

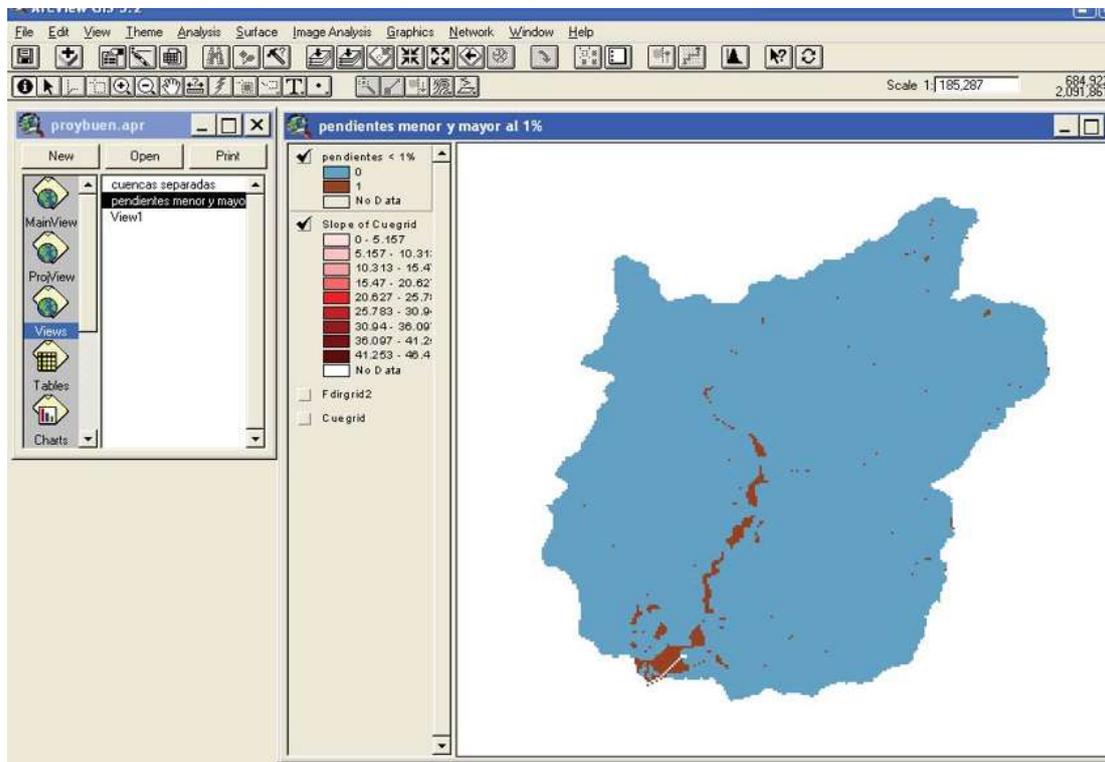


Figura 5.123, Esta figura nos muestra las pendientes menores al 1% en color café, esto lo hace “ArcView” tomando en consideración el área, en forma de píxeles.

Nuestro siguiente mapa es el de pendientes mayores al 1%, el procedimiento es el mismo, la única diferencia son los valores menores al 1%, a estos se les hace 0 y a todos los demás se les da el valor 1, figura 5.124.

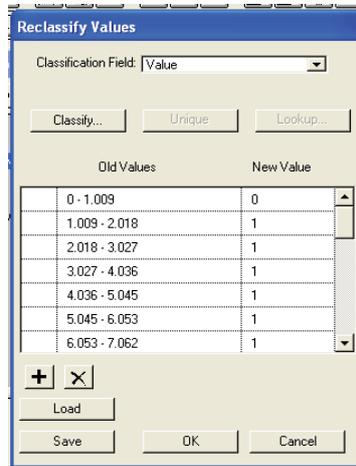


Figura 5.124, Modificación de las celdas de la segunda columna.

El mapa de pendientes mayores al 1% es el mostrado en color azul, se recuerda poner un nombre al mapa, figura 5.125.

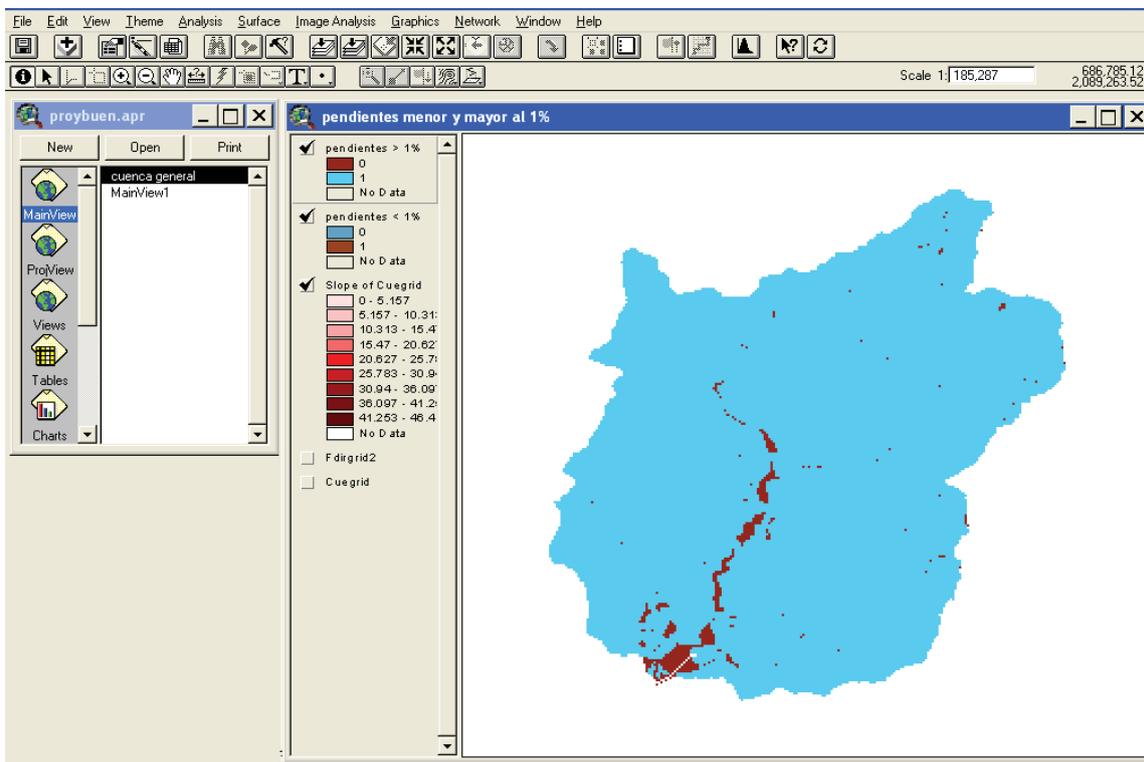


Figura 5.125, Esta figura nos muestra las pendientes mayores al 1% en color azul, esto lo hace "ArcView" tomando en consideración el área, en forma de pixeles.

B) RECLASIFICACION DEL MAPA TIPO DE SUELO.

Para este caso utilizaremos el mapa de la figura 5.78, como es costumbre lo abriremos en una nueva “View”, y colocaremos unidades.

Hecho lo anterior, entraremos a la tabla de atributos del mapa de Tipo de Suelo y agregaremos dos columnas más para hacer una separación entre los diferentes tipos de suelo que existen dentro de la cuenca en estudio, estas dos columnas se llamarán, “textnc” y “valornc”.

Para entrar a la tabla de atributos del tema de “Tipo de suelo” es necesario que el tema este activado y seleccionado, presionamos el botón de “Open Theme Table”, figura 5.126.



Figura 5.126, Icono para abrir la tabla que buscamos.

Nos mostrará la tabla con los datos que existen en el mapa a estudiar, figura 5.114, y en esta tabla es en donde agregaremos dos columnas más.

Shape	Id	Area	Perimeter	Hectares	Clave	Fc	Nom_sue1	Nom_sub1	Nom_sue2	Nom_sub2	Nom_sue3	Nom_sub3	Clas. te
Polygon	9631	1738913.615	7105.056	173.891	ZU	6525	N/A						
Polygon	9631	1738913.615	7105.056	173.891	ZU	6525	N/A						
Polygon	13614	248021771.431	90285.095	24802.177	Ao+Bd+Rd/3/LP	18953	Acrisol	crómico	Cambisol	dístico	Regosol	dístico	Fina
Polygon	17073	13391047.514	20275.537	1339.105	E+I/2/P	20118	Rendzina	N/A	Litosol	N/A	NINGUNO	NINGUNO	Media
Polygon	18862	20720269.146	20797.436	2072.027	E+Lc+I/3/L	20164	Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Litosol	N/A	Fina
Polygon	29469	11279642.127	13830.683	1127.964	I+E+Lc/2	21753	Litosol	N/A	Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media
Polygon	29469	11279642.127	13830.683	1127.964	I+E+Lc/2	21753	Litosol	N/A	Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media
Polygon	29469	11279642.127	13830.683	1127.964	I+E+Lc/2	21753	Litosol	N/A	Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media
Polygon	29469	11279642.127	13830.683	1127.964	I+E+Lc/2	21753	Litosol	N/A	Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media
Polygon	29469	11279642.127	13830.683	1127.964	I+E+Lc/2	21753	Litosol	N/A	Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media
Polygon	29477	7990113.836	17400.872	799.011	I+E+Lc/2	21753	Litosol	N/A	Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media
Polygon	31180	31397875.161	28130.213	3139.788	I+Lc+Hh/2	21847	Litosol	N/A	Luvisol	crómico	Feozem	háptico	Media
Polygon	31180	31397875.161	28130.213	3139.788	I+Lc+Hh/2	21847	Litosol	N/A	Luvisol	crómico	Feozem	háptico	Media
Polygon	31180	31397875.161	28130.213	3139.788	I+Lc+Hh/2	21847	Litosol	N/A	Luvisol	crómico	Feozem	háptico	Media
Polygon	31180	31397875.161	28130.213	3139.788	I+Lc+Hh/2	21847	Litosol	N/A	Luvisol	crómico	Feozem	háptico	Media
Polygon	31180	31397875.161	28130.213	3139.788	I+Lc+Hh/2	21847	Litosol	N/A	Luvisol	crómico	Feozem	háptico	Media
Polygon	31180	31397875.161	28130.213	3139.788	I+Lc+Hh/2	21847	Litosol	N/A	Luvisol	crómico	Feozem	háptico	Media
Polygon	31180	31397875.161	28130.213	3139.788	I+Lc+Hh/2	21847	Litosol	N/A	Luvisol	crómico	Feozem	háptico	Media
Polygon	40769	236952999.544	131304.054	23695.300	Lc+Hh+Re/3/LP	22887	Luvisol	crómico	Feozem	háptico	Regosol	éutrico	Fina
Polygon	40769	236952999.544	131304.054	23695.300	Lc+Hh+Re/3/LP	22887	Luvisol	crómico	Feozem	háptico	Regosol	éutrico	Fina
Polygon	41247	48625099.036	58618.079	4862.510	Lc+Re+Hh/3/LP	23048	Luvisol	crómico	Regosol	éutrico	Feozem	háptico	Fina
Polygon	70964	19989709.600	33620.515	1998.971	Ah+Bc+Re/2/LP	18832	Acrisol	húmico	Cambisol	crómico	Regosol	éutrico	Media
Polygon	70965	9174509.411	26711.791	917.451	Hh+Re/2/P	21249	Feozem	háptico	Regosol	éutrico	NINGUNO	NINGUNO	Media
Polygon	70966	179703846.801	70822.682	17970.385	Lc+Hh+Re/3/LP	22887	Luvisol	crómico	Feozem	háptico	Regosol	éutrico	Fina

Figura 5.127, Tabla con los diversos datos que contiene la zona en estudio.

Ya estando en la tabla de atributos nos vamos al menú “Table” y presionamos “Start Editing”, figura 5.128.



Figura 5.128, Pestaña “Table” con la opción “Start Editing”.

A continuación hacemos el siguiente procedimiento “Edit – Add Field”, figura 5.129.



Figura 5.129, Pestaña “Edit” con la opción “Add Field”.

Nos mostrará una ventana en donde nos pedirá algunos datos para la nueva columna a agregar como son: nombre, tipo de formato, ancho de la columna y número de decimales, figura 5.130.

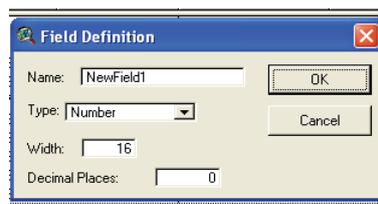


Figura 5.130, En esta ventana se selecciona el nombre de la columna así como lo que contendrá, si son números o letras, entre otras propiedades que se pueden modificar.

A una de las columnas que se van a agregar le pondremos el nombre de “textnc”, al tipo lo seleccionaremos como “string” y los otros dos campos los dejamos como se muestran por default.

Dentro del campo “Textnc” se hizo una correspondencia de la textura del suelo que el INEGI maneja con la clasificación que a estas texturas del método de los números de escurrimiento desarrollado siendo las texturas establecidas por el primero las siguientes: Fina, Media, Gruesa y suelos cubiertos por agua. Tomando en cuenta la

textura y la fase física para realizar cada correspondencia, la textura fina se reclasificó en los tipos C y D, la textura media se reclasificó en B y la textura gruesa en el tipo A; quedando sin reclasificar el suelo cubierto por agua, ya que no produce escurrimiento, en la tabla 1 se muestra esta correspondencia.

TEXTURA DEL SUELO (INEGI)	TIPO DE SUELO (CLASIFICACIÓN MNEUSSCS)
Suelo cubierto por agua	" "
Gruesa	A
Mediana	B
Fina	C D

Tabla 1, Muestra las correspondencias del INEGI.

La siguiente figura nos muestra la tabla de atributos con la columna ya agregada y seleccionada, se nota en la pestaña un gris más oscuro y continuamos a introducir los datos correspondientes, figura 5.131.

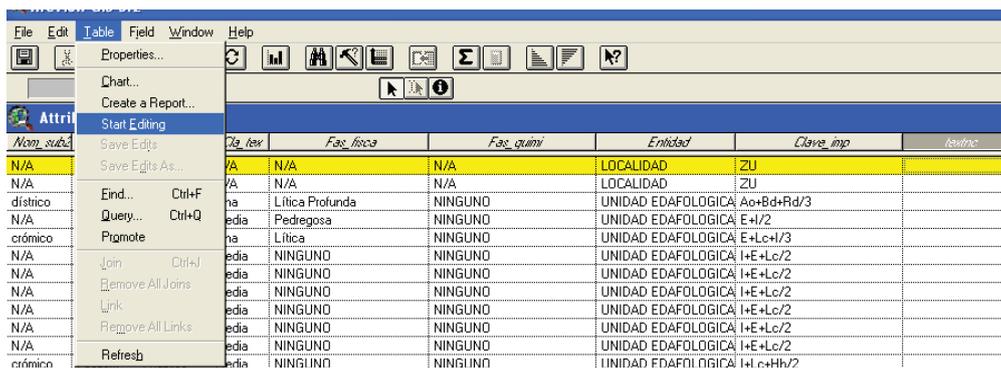


Figura 5.131, Muestra la pestaña generada “textnc”.

A continuación nos vamos a la columna de “Textnc” y de acuerdo a la “tabla 1” se le van asignando los valores correspondientes a cada tipo de suelo, en la nueva columna agregada y seleccionada debe de estar activado el botón “Editar” para agregar los datos, figura 5.132.

Nom_sue2	Nom_sub2	Nom_sue3	Nom_sub3	Clas_text	Fas_fisca	Fas_quimi	Entidad	Clave_imp	textnc
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	LOCALIDAD	ZU	A
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	LOCALIDAD	ZU	A
Cambisol	dístico	Regosol	dístico	Fina	Lítica Profunda	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	Ao+Bd+Rd/3	C
Litosol	N/A	NINGUNO	NINGUNO	Media	Pedregosa	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	E+l/2	B
Luvisol	crómico	Litosol	N/A	Fina	Lítica	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	E+Lc+l/3	C
Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	I+E+Lc/2	B
Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	I+E+Lc/2	B
Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	I+E+Lc/2	B
Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	I+E+Lc/2	B
Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	I+E+Lc/2	B
Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	I+E+Lc/2	B
Luvisol	crómico	Feozem	háplico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	I+Lc+Hh/2	B
Luvisol	crómico	Feozem	háplico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	I+Lc+Hh/2	B
Luvisol	crómico	Feozem	háplico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	I+Lc+Hh/2	B
Luvisol	crómico	Feozem	háplico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	I+Lc+Hh/2	B
Luvisol	crómico	Feozem	háplico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	I+Lc+Hh/2	B
Luvisol	crómico	Feozem	háplico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	I+Lc+Hh/2	B
Luvisol	crómico	Feozem	háplico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	I+Lc+Hh/2	B
Feozem	háplico	Regosol	éutrico	Fina	Lítica Profunda	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	Lc+Hh+Re/3	C
Feozem	háplico	Regosol	éutrico	Fina	Lítica Profunda	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	Lc+Hh+Re/3	C
Regosol	éutrico	Feozem	háplico	Fina	Lítica Profunda	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLÓGICA	Lc+Re+Hh/3	C

Figura 5.132, Muestra la columna generada con las literales correspondientes, tomadas de la tabla 1.

Se agrega la siguiente columna con el nombre de “Valornc”, el procedimiento es el mismo que se hizo para agregar la columna de “Textnc”, lo único que va a cambiar es en el tipo de formato que será numérico.

Los valores que serán asignados a cada tipo de suelo se obtendrán de la “Tabla 2”.

El campo “Valornc” se incluyó como el campo numérico necesario para hacer la conversión a formato “Grid”, tomando valores de cero hasta cuatro conforme al siguiente criterio: el valor cero se otorgó al suelo cubierto por agua ya que al relacionarse con los mapas de uso de suelo y pendientes se anularán por no existir las entidades mencionadas anteriormente y pendiente sobre la superficie acuática.

Tipo de Suelo (Clasificación MNEUSSCS)	Valor para el numero de Curva (Valornc)
Suelo cubierto por agua	(cero)
A	(uno)
B	(dos)
C	(tres)
D	(cuatro)

Tabla 2, Muestra la clasificación en forma de números.

Asignados los valores correspondientes a cada renglón, una vez terminado el proceso de valores para cada textura del suelo, nos vamos a la pestaña “Table” y presionamos “Stop Editing”, figura 5.133, hecho estos pasos nos mostrará una ventana preguntándonos si queremos guardar el procedimiento y presionamos “Yes”.

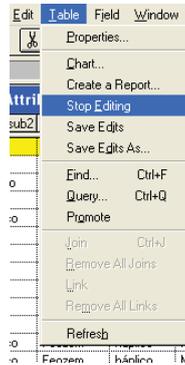


Figura 5.133, pestaña “Table” mostrando la opción “Stop Editing”.

La tabla de atributos nos quedará de la siguiente manera ya con las dos columnas agregadas y con sus valores correspondientes de acuerdo a dichas tablas, figura 5.134.

Mon_sue2	Mon_sue3	Mon_sue3	Mon_sue3	Clas_text	Faz_hisca	Faz_guini	Entidad	Clave_imp	estruc	valornc
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	LOCALIDAD	ZU	A	1
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	LOCALIDAD	ZU	A	1
Cambisol	dístico	Regosol	dístico	Fina	Lítica Profunda	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	Ao+Bd+Rd/3	C	3
Litosol	N/A	NINGUNO	NINGUNO	Media	Pedregosa	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	E+I/2	B	2
Luvisol	crómico	Litosol	N/A	Fina	Lítica	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	E+Lc+I/3	C	3
Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	I+E+Lc/2	B	2
Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	I+E+Lc/2	B	2
Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	I+E+Lc/2	B	2
Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	I+E+Lc/2	B	2
Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	I+E+Lc/2	B	2
Rendzina	N/A	Luvisol	crómico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	I+E+Lc/2	B	2
Luvisol	crómico	Feozem	háplico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	I+Lc+Hh/2	B	2
Luvisol	crómico	Feozem	háplico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	I+Lc+Hh/2	B	2
Luvisol	crómico	Feozem	háplico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	I+Lc+Hh/2	B	2
Luvisol	crómico	Feozem	háplico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	I+Lc+Hh/2	B	2
Luvisol	crómico	Feozem	háplico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	I+Lc+Hh/2	B	2
Luvisol	crómico	Feozem	háplico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	I+Lc+Hh/2	B	2
Luvisol	crómico	Feozem	háplico	Media	NINGUNO	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	I+Lc+Hh/2	B	2
Feozem	háplico	Regosol	éutrico	Fina	Lítica Profunda	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	Lc+Hh+Re/3	C	3
Feozem	háplico	Regosol	éutrico	Fina	Lítica Profunda	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	Lc+Hh+Re/3	C	3
Regosol	éutrico	Feozem	háplico	Fina	Lítica Profunda	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	Lc+Re+Hh/3	C	3
Cambisol	crómico	Regosol	éutrico	Media	Lítica Profunda	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	Ah+Bc+Re/2	B	2
Regosol	éutrico	NINGUNO	NINGUNO	Media	Pedregosa	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	Hh+Re/2	B	2
Feozem	háplico	Regosol	éutrico	Fina	Lítica Profunda	NINGUNO	UNIDAD EDAFOLOGICA	Lc+Hh+Re/3	A	1

Figura 5.134, Muestra las dos columnas agregadas a las tablas.

Ya obtenida nuestra tabla de atributos, obtendremos un mapa en formato “Grid” con la columna de “valornc”, en la tabla de atributos seleccionamos la columna de “valornc”, cerramos la ventana de la tabla de atributos y el mapa nos aparecerá seleccionado, por lo tanto hacemos la conversión a “Grid” y nos aparecerá un mapa con tres valores, uno, dos y tres, cada valor representado con un color, figura 5.135.

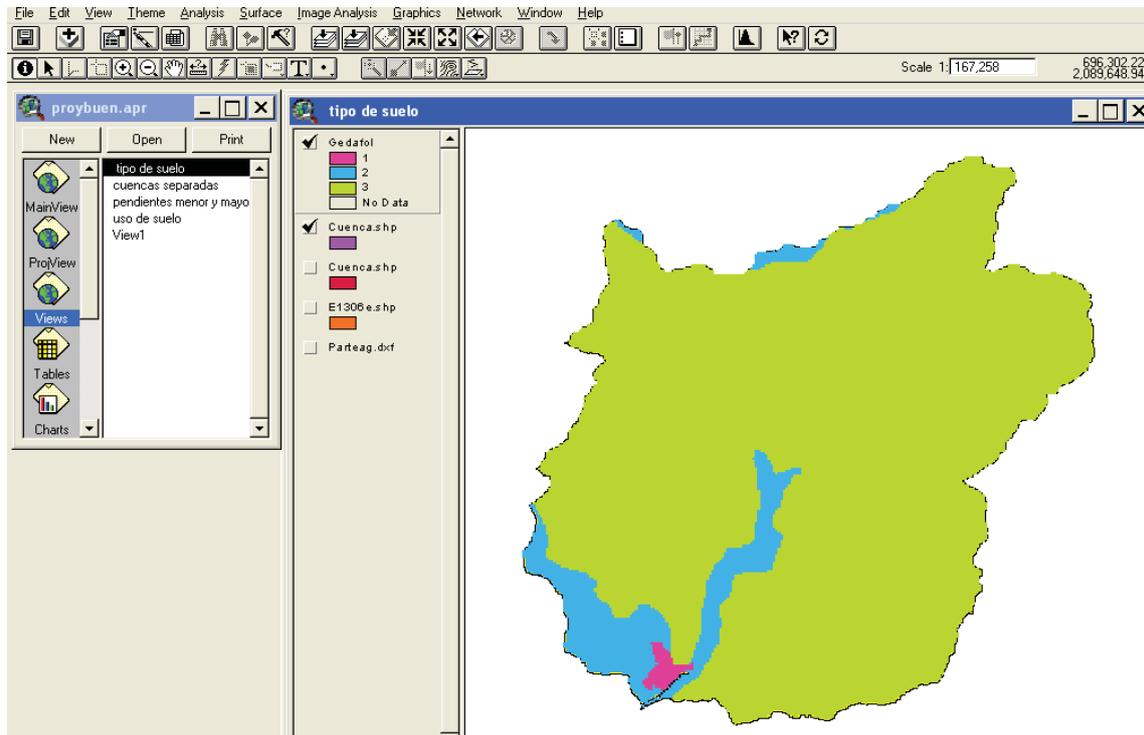


Figura 5.135, Muestra el “Grid” de edafología del área en estudio, en este caso se tienen tres diferentes clasificaciones.

Al mapa anterior debemos de realizarle una reclasificación, para esto debemos de tener seleccionado el tema del mapa anteriormente creado, nos vamos al menú “Analysis” y en este a la opción “Reclassify”, nos aparecerá una ventana, en esta debemos de invertir los números en la segunda columna, es decir, donde estaba el 1, ahora estará el 3, donde estaba el 2, seguirá estando el 2, y por ultimo en lugar del 3 estará el 1, ver figura 5.136, la forma de modificar las numeraciones es simplemente dando un clic sobre la celda a modificar.



Figura 5.136, Muestra como la segunda columna fue modificada colocando los números a la inversa.

El resultado de este procedimiento no modificara la forma del mapa, si este paso no se realiza los valores del numero de escurrimiento saldrán inversos y en ocasiones valores que nos son congruentes.

C) RECLASIFICACION DEL MAPA DE USO DE SUELO.

En este caso utilizaremos el mapa de la figura 5.79, se puede abrir una nueva “View” o trabajar en la del desarrollo anterior, recordemos colocar las unidades, a este mapa también se le agregarán dos columnas, una con el nombre de “Valor_uno” y otra con el nombre de “Uso_Tierra”.

En la tabla de atributos de la figura 5.80, la columna de “Uso_Tierra” (que fue una de las dos columnas que agregamos), se clasifica de acuerdo a la “tabla 3”. Es muy confuso por ejemplo distinguir el tipo de bosque, si es normal o ralo, para el estudio que se realizo, fue necesario comprar “Ortofotos” con las cuales nos basamos para poder distinguir el uso de suelo y poder clasificarlo.

CORRESPONDENCIA INEGI - USSCS PARA USO DE SUELO

ENTIDAD (INEGI)	USO_TIERRA (MNEUSSCS)
Area Agrícola	Surcos rectos Terrazas Contorneo
Area sin Vegetación	Terracería
Bosque	Normal Ralo
Cuerpo de Agua	Agua
Localidad	Urbana
Matorral	Pradera
Otros tipos de vegetación (Tular)	Agua
Pastizal	Pastizal

Tabla 3, Muestra las equivalencias para la clasificación.

Ya clasificada la columna de “Uso_Tierra”, en la columna de “Valor_uno” haremos lo siguiente, al uso de tierra que sea igual se le dará el valor de uno y a todos los demás usos se les dará el valor de cero. En este caso se obtuvieron seis mapas, los cuales son: terrazas (figura 5.137), Surcos Rectos (figura 5.138), Zona Urbana (figura 5.139), Bosque normal (figura 5.140), Bosque Ralo (figura 5.141) y Pastizal (figura 5.142).

A continuación se mostraran las seis tablas de atributos correspondientes a cada Uso de Suelo, en cada tabla aparecerán de amarillo los usos de Suelo que son iguales con el valor de uno y de blanco los demás Usos de Suelo con el valor de cero.

Shape	Area	Perimeter	Fc	Clavefoto	Entidad	Tipo	Fisonomia	Veg. sec	Erosion	Cult. p	Cult. sed	Cult. ter	Uso Tierra	Valor uno		
Polygon	18610030.000	34467.598	571	29358	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	terrazas	1
Polygon	6944689.500	14493.679	522	29309	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	terrazas	1
Polygon	6958457.000	12439.082	500	29287	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	terrazas	1
Polygon	6958457.000	12439.082	500	29287	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	terrazas	1
Polygon	6958457.000	12439.082	500	29287	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	terrazas	1
Polygon	6958457.000	12439.082	500	29287	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	terrazas	1
Polygon	6958457.000	12439.082	500	29287	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	terrazas	1
Polygon	1996859.750	7913.093	491	29278	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	terrazas	1
Polygon	2740112.750	8772.652	539	29326	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	terrazas	1
Polygon	62646916.000	30937.609	156	28930	6338	BPQ	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	6816063.000	13109.727	170	28945	6334	BP/VA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	ralo	0
Polygon	20829040.000	42712.906	183	28958	6340	BPQ/VA	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	ralo	0
Polygon	20829040.000	42712.906	183	28958	6340	BPQ/VA	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	ralo	0
Polygon	4760957.500	10183.169	187	28962	6338	BPQ	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	ralo	0
Polygon	4660146.500	14598.269	198	28975	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	ralo	0
Polygon	4660146.500	14598.269	198	28975	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	ralo	0
Polygon	5682709.000	15660.354	230	29008	6332	BP/VA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	17883300.000	30405.893	236	29014	6334	BP/VA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	1517570.625	5467.393	243	29021	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	ralo	0
Polygon	897905.250	4200.033	252	29030	6796	PI	PASTIZAL	Pastizal inducido	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	pastizal	0
Polygon	873172.688	3951.130	260	29039	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	1223702.500	5099.184	261	29040	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	9557448.000	22149.705	268	29048	6330	BP	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	555666.438	3724.336	269	29049	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	1273145.500	4818.347	276	29056	6342	BPQ/VA	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	3583783.750	9048.116	279	29061	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	surcos recto	0
Polygon	1968549.500	6832.115	284	29067	6332	BP/VA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	7027557.000	14301.495	286	29069	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	1564599.625	5884.735	288	29071	6332	BP/VA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0

Figura 5.137, Tabla de Terrazas.

Shape	Area	Perimeter	Fc	Clavefoto	Entidad	Tipo	Fisonomia	Veg. sec	Erosion	Cult. p	Cult. sed	Cult. ter	Uso Tierra	Valor uno		
Polygon	12732835.000	30739.475	576	29363	6152	RA	AREA AGF	riego	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	surcos recto	1
Polygon	12732835.000	30739.475	576	29363	6152	RA	AREA AGF	riego	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	surcos recto	1
Polygon	12732835.000	30739.475	576	29363	6152	RA	AREA AGF	riego	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	surcos recto	1
Polygon	3892473.500	12148.930	458	29244	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	surcos recto	1
Polygon	12732835.000	30739.475	576	29363	6152	RA	AREA AGF	riego	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	surcos recto	1
Polygon	1686435.000	6451.567	385	29169	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	surcos recto	1
Polygon	8250361.000	28869.738	345	29129	6152	RA	AREA AGF	riego	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	surcos recto	1
Polygon	3583783.750	9048.116	279	29061	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	surcos recto	1
Polygon	62646916.000	30937.609	156	28930	6338	BPQ	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	ralo	0
Polygon	62646916.000	30937.609	156	28930	6338	BPQ	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	6816063.000	13109.727	170	28945	6334	BP/VA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	ralo	0
Polygon	20829040.000	42712.906	183	28958	6340	BPQ/VA	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	ralo	0
Polygon	20829040.000	42712.906	183	28958	6340	BPQ/VA	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	ralo	0
Polygon	4760957.500	10183.169	187	28962	6338	BPQ	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	ralo	0
Polygon	4660146.500	14598.269	198	28975	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	ralo	0
Polygon	4660146.500	14598.269	198	28975	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	ralo	0
Polygon	5682709.000	15660.354	230	29008	6332	BP/VA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	17883300.000	30405.893	236	29014	6334	BP/VA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	1517570.625	5467.393	243	29021	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	ralo	0
Polygon	897905.250	4200.033	252	29030	6796	PI	PASTIZAL	Pastizal inducido	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	pastizal	0
Polygon	873172.688	3951.130	260	29039	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	1223702.500	5099.184	261	29040	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	9557448.000	22149.705	268	29048	6330	BP	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	555666.438	3724.336	269	29049	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	1273145.500	4818.347	276	29056	6342	BPQ/VA	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	11221374.000	25729.730	126	28901	6330	BP	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	1968549.500	6832.115	284	29067	6332	BP/VA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	7027557.000	14301.495	286	29069	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	1564599.625	5884.735	288	29071	6332	BP/VA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0
Polygon	10143775.000	23469.867	289	29072	6332	BP/VA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplc	no apli	normal	0

Figura 5.138, Tabla de Surcos rectos.

File Edit Table Field Window Help

13 of 107 selected

Attributes of Clip5.shp

Shape	Area	Perimeter	306u2	1306u2v	Fc	Clavofot	Entidad	Tipo	Fisonomia	Veg_sec	Erosion	Cult_pr	Cult_sec	Cult_ter	Uso_Tierra	Valor_uno
Polygon	1735475.500	7035.654	561	29348	6525	ZU	LOCALIDA	Zona Urbana	no aplicable	no aplica	no aplica	no apl	no aplic	no aplic	urbana	1
Polygon	1735475.500	7035.654	561	29348	6525	ZU	LOCALIDA	Zona Urbana	no aplicable	no aplica	no aplica	no apl	no aplic	no aplic	urbana	1
Polygon	1735475.500	7035.654	561	29348	6525	ZU	LOCALIDA	Zona Urbana	no aplicable	no aplica	no aplica	no apl	no aplic	no aplic	urbana	1
Polygon	1735475.500	7035.654	561	29348	6525	ZU	LOCALIDA	Zona Urbana	no aplicable	no aplica	no aplica	no apl	no aplic	no aplic	urbana	1
Polygon	1735475.500	7035.654	561	29348	6525	ZU	LOCALIDA	Zona Urbana	no aplicable	no aplica	no aplica	no apl	no aplic	no aplic	urbana	1
Polygon	1735475.500	7035.654	561	29348	6525	ZU	LOCALIDA	Zona Urbana	no aplicable	no aplica	no aplica	no apl	no aplic	no aplic	urbana	1
Polygon	1735475.500	7035.654	561	29348	6525	ZU	LOCALIDA	Zona Urbana	no aplicable	no aplica	no aplica	no apl	no aplic	no aplic	urbana	1
Polygon	1735475.500	7035.654	561	29348	6525	ZU	LOCALIDA	Zona Urbana	no aplicable	no aplica	no aplica	no apl	no aplic	no aplic	urbana	1
Polygon	1735475.500	7035.654	561	29348	6525	ZU	LOCALIDA	Zona Urbana	no aplicable	no aplica	no aplica	no apl	no aplic	no aplic	urbana	1
Polygon	1735475.500	7035.654	561	29348	6525	ZU	LOCALIDA	Zona Urbana	no aplicable	no aplica	no aplica	no apl	no aplic	no aplic	urbana	1
Polygon	1735475.500	7035.654	561	29348	6525	ZU	LOCALIDA	Zona Urbana	no aplicable	no aplica	no aplica	no apl	no aplic	no aplic	urbana	1
Polygon	1735475.500	7035.654	561	29348	6525	ZU	LOCALIDA	Zona Urbana	no aplicable	no aplica	no aplica	no apl	no aplic	no aplic	urbana	1
Polygon	4760957.500	10183.169	187	28962	6338	BQP	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	ralo	0
Polygon	4660146.500	14598.269	198	28975	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	ralo	0
Polygon	4660146.500	14598.269	198	28975	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	ralo	0
Polygon	5682709.000	15660.354	230	29008	6332	BP/VsA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	0
Polygon	17883300.000	30405.893	236	29014	6334	BP/VsA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	0
Polygon	1517570.625	5467.393	243	29021	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	ralo	0
Polygon	897905.250	4200.033	252	29030	6796	PI	PASTIZAL	Pastizal inducido	no aplicable	no aplica	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	pastizal	0
Polygon	873172.688	3951.130	260	29039	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	0
Polygon	1223702.500	5093.184	261	29040	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	0
Polygon	9557448.000	22149.705	268	29048	6330	BP	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	0
Polygon	556666.438	3724.336	269	29049	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	0
Polygon	1273145.500	4818.347	276	29056	6342	BPQ/VsA	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	0
Polygon	3583783.750	9048.115	279	29061	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	surcos recto	0
Polygon	1968549.500	6832.115	284	29067	6332	BP/VsA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	0
Polygon	7027557.000	14301.495	286	29069	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	0
Polygon	1564599.625	5884.735	288	29071	6332	BP/VsA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	0
Polygon	10143775.000	23463.867	289	29072	6332	BP/VsA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	0
Polygon	4364688.500	10940.737	294	29077	6782	PC	PASTIZAL	Pastizal cultivado	no aplicable	no aplica	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	pastizal	0
Polygon	4474742.500	12484.374	299	29082	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	0
Polygon	2924426.000	8059.399	301	29084	6302	BPQ/VsA	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	ralo	0

Figura 5.139, Tabla de zona Urbana.

File Edit Table Field Window Help

107 of 107 selected

Attributes of Clip5.shp

Shape	Area	Perimeter	306u2	1306u2v	Fc	Clavofot	Entidad	Tipo	Fisonomia	Veg_sec	Erosion	Cult_pr	Cult_sec	Cult_ter	Uso_Tierra	Valor_uno
Polygon	39880532.000	80316.453	46	28668	6840	SBC/VsA	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	39880532.000	80316.453	46	28668	6840	SBC/VsA	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	1715799.250	7188.663	601	29388	6300	BQ/VsA	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	39880532.000	80316.453	46	28668	6840	SBC/VsA	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	12557331.000	19389.342	93	28865	6332	BP/VsA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	11221374.000	25729.730	126	28901	6330	BP	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	11221374.000	25729.730	126	28901	6330	BP	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	11221374.000	25729.730	126	28901	6330	BP	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	1209373.000	4902.774	597	29384	6840	SBC/VsA	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	62646916.000	30937.609	156	28930	6338	BQP	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	7635661.000	16747.045	566	29353	6342	BPQ/VsA	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	7635661.000	16747.045	566	29353	6342	BPQ/VsA	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	12918596.000	29006.145	540	29327	6338	BQP	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	1769405.125	6416.179	531	29318	6332	BP/VsA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	38294048.000	65357.094	504	29291	6840	SBC/VsA	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	4431828.500	9704.757	478	29265	6340	BPQ/VsA	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	5682709.000	15660.354	230	29008	6332	BP/VsA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	17883300.000	30405.893	236	29014	6334	BP/VsA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	2482178.250	7887.507	475	29262	6308	BQ/VsA	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	2482178.250	7887.507	475	29262	6308	BQ/VsA	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	873172.688	3951.130	260	29039	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	1223702.500	5093.184	261	29040	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	9557448.000	22149.705	268	29048	6330	BP	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	556666.438	3724.336	269	29049	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	1273145.500	4818.347	276	29056	6342	BPQ/VsA	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	1715799.250	7188.663	601	29388	6300	BQ/VsA	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	1968549.500	6832.115	284	29067	6332	BP/VsA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	7027557.000	14301.495	286	29069	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	1564599.625	5884.735	288	29071	6332	BP/VsA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	10143775.000	23463.867	289	29072	6332	BP/VsA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	2783298.750	9099.775	452	29238	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	4474742.500	12484.374	299	29082	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	9988658.000	26458.805	441	29227	6332	BP/VsA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	4890308.000	14704.874	433	29218	6332	BP/VsA	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1
Polygon	3565154.750	8453.670	416	29000	6338	BQP	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apl	no aplic	no aplic	normal	1

Figura 5.140, Tabla de Bosque Normal.

Shape	Area	Perimeter	306u2	1306u2v	Fc	Clavetof	Entidad	Tipo	Fisonomia	Veg_sec	Erosion	Cult_pr	Cult_sec	Cult_tel	Uso_Tierra	Valor_uso
Polygon	1075535.250	4798.828	462	29249	6840	SBC/VSa	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	1209373.000	4802.774	597	29384	6840	SBC/VSa	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	39880532.000	80316.453	46	28668	6840	SBC/VSa	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	7635661.000	16747.045	566	29353	6342	BPQ/VSa	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	7635661.000	16747.045	566	29353	6342	BPQ/VSa	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	7635661.000	16747.045	566	29353	6342	BPQ/VSa	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	12918596.000	29006.145	540	29327	6338	BPQ	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	3092958.000	7458.963	535	29322	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	62646916.000	30937.609	156	28930	6338	BPQ	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	2707081.250	8658.896	519	29306	6332	BP/VSa	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	6816063.000	13109.727	170	28945	6334	BP/VSa	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	20829040.000	42712.906	183	28958	6340	BPQ/VSa	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	20829040.000	42712.906	183	28958	6340	BPQ/VSa	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	4760957.500	10183.169	187	28962	6338	BPQ	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	4660146.500	14598.269	198	28975	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	4660146.500	14598.269	198	28975	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	2707081.250	8658.896	519	29306	6332	BP/VSa	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	596496.563	3167.335	512	29299	6330	BP	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	1517570.625	5467.393	243	29021	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	1209373.000	4802.774	597	29384	6840	SBC/VSa	SELVA	Selva baja caducifolia	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	3611895.000	10720.730	308	29091	6340	BPQ/VSa	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	6328510.000	17420.492	307	29090	6332	BP/VSa	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	2924426.000	8059.399	301	29084	6302	BQ/VSa	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	1
Polygon	555666.438	3724.336	269	29049	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	1273145.500	4818.347	276	29056	6342	BPQ/VSa	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	3583783.750	3048.116	279	29061	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	surcos recto	0
Polygon	1968549.500	6832.115	284	29067	6332	BP/VSa	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	7027557.000	14301.495	286	29069	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	1564599.625	5884.735	288	29071	6332	BP/VSa	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	10143775.000	23469.867	289	29072	6332	BP/VSa	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	4364688.500	10940.737	294	29077	6782	PC	PASTIZAL	Pastizal cultivado	no aplicable	no aplica	sin eros	no apt	no aplic	no apli	pastizal	0
Polygon	4474742.500	12484.374	299	29082	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	9557448.000	22149.705	268	29048	6330	BP	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	1223702.500	5099.184	261	29040	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0

Figura 5.141, Tabla de Bosque Ralo.

Shape	Area	Perimeter	306u2	1306u2v	Fc	Clavetof	Entidad	Tipo	Fisonomia	Veg_sec	Erosion	Cult_pr	Cult_sec	Cult_tel	Uso_Tierra	Valor_uso
Polygon	6596962.000	17944.850	605	29392	6782	PC	PASTIZAL	Pastizal cultivado	no aplicable	no aplica	sin eros	no apt	no aplic	no apli	pastizal	1
Polygon	1544548.750	5691.903	542	29329	6796	PI	PASTIZAL	Pastizal inducido	no aplicable	no aplica	sin eros	no apt	no aplic	no apli	pastizal	1
Polygon	7823543.000	15711.518	525	29312	6782	PC	PASTIZAL	Pastizal cultivado	no aplicable	no aplica	sin eros	no apt	no aplic	no apli	pastizal	1
Polygon	1361036.000	5411.109	516	29303	6796	PI	PASTIZAL	Pastizal inducido	no aplicable	no aplica	sin eros	no apt	no aplic	no apli	pastizal	1
Polygon	1796737.250	5760.607	503	29290	6796	PI	PASTIZAL	Pastizal inducido	no aplicable	no aplica	sin eros	no apt	no aplic	no apli	pastizal	1
Polygon	1552892.625	5347.337	424	29209	6796	PI	PASTIZAL	Pastizal inducido	no aplicable	no aplica	sin eros	no apt	no aplic	no apli	pastizal	1
Polygon	1435582.250	5641.302	349	29133	6796	PI	PASTIZAL	Pastizal inducido	no aplicable	no aplica	sin eros	no apt	no aplic	no apli	pastizal	1
Polygon	4364688.500	10940.737	294	29077	6782	PC	PASTIZAL	Pastizal cultivado	no aplicable	no aplica	sin eros	no apt	no aplic	no apli	pastizal	1
Polygon	897905.250	4200.033	252	29030	6796	PI	PASTIZAL	Pastizal inducido	no aplicable	no aplica	sin eros	no apt	no aplic	no apli	pastizal	1
Polygon	801654.313	3885.593	568	29355	6796	PI	PASTIZAL	Pastizal inducido	no aplicable	no aplica	sin eros	no apt	no aplic	no apli	pastizal	1
Polygon	6816063.000	13109.727	170	28945	6334	BP/VSa	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	0
Polygon	20829040.000	42712.906	183	28958	6340	BPQ/VSa	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	0
Polygon	20829040.000	42712.906	183	28958	6340	BPQ/VSa	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	0
Polygon	4760957.500	10183.169	187	28962	6338	BPQ	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	0
Polygon	4660146.500	14598.269	198	28975	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	0
Polygon	4660146.500	14598.269	198	28975	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	0
Polygon	5682709.000	15660.354	230	29008	6332	BP/VSa	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	17883300.000	30405.893	236	29014	6334	BP/VSa	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	1517570.625	5467.393	243	29021	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	0
Polygon	62646916.000	30937.609	156	28930	6338	BPQ	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	0
Polygon	873172.688	3951.130	260	29039	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	1223702.500	5099.184	261	29040	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	9557448.000	22149.705	268	29048	6330	BP	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	555666.438	3724.336	269	29049	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	1273145.500	4818.347	276	29056	6342	BPQ/VSa	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	3583783.750	3048.116	279	29061	6214	TA	AREA AGF	temporal	no aplicable	no aplica	sin eros	anual	ningun	ningun	surcos recto	0
Polygon	1968549.500	6832.115	284	29067	6332	BP/VSa	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	7027557.000	14301.495	286	29069	6298	BQ	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	1564599.625	5884.735	288	29071	6332	BP/VSa	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	10143775.000	23469.867	289	29072	6332	BP/VSa	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	11221374.000	25729.730	126	28901	6330	BP	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	4474742.500	12484.374	299	29082	6306	BQP	BOSQUE	Bosque de encino-pino	no aplicable	ninguno	sin eros	no apt	no aplic	no apli	normal	0
Polygon	2924426.000	8059.399	301	29084	6302	BQ/VSa	BOSQUE	Bosque de encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	0
Polygon	6328510.000	17420.492	307	29090	6332	BP/VSa	BOSQUE	Bosque de pino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	0
Polygon	3611895.000	10720.730	308	29091	6340	BPQ/VSa	BOSQUE	Bosque de pino-encino	no aplicable	Vegetaci	sin eros	no apt	no aplic	no apli	ralo	0

Figura 5.142, Tabla de Pastizal.

Mostradas las tablas de los diferentes Usos de Suelo, lo siguiente es obtener los mapas en formato “Grid” de dichas tablas, en este caso serán seis mapas, cada uno con su correspondiente Uso de Suelo.

Cada mapa aparecerá con dos valores, cero y uno, recordando que en la tabla de atributos para los diferentes Usos de Suelo se les dio el valor de uno a los suelos que son iguales y de cero a los demás Usos de suelo, obteniendo seis mapas los cuales son: terrazas (figura 5.143), Surcos Rectos (figura 5.144), Zona Urbana (figura 5.1345), Bosque normal (figura 5.146), Bosque Ralo (figura 5.147) y Pastizal (figura 5.148).

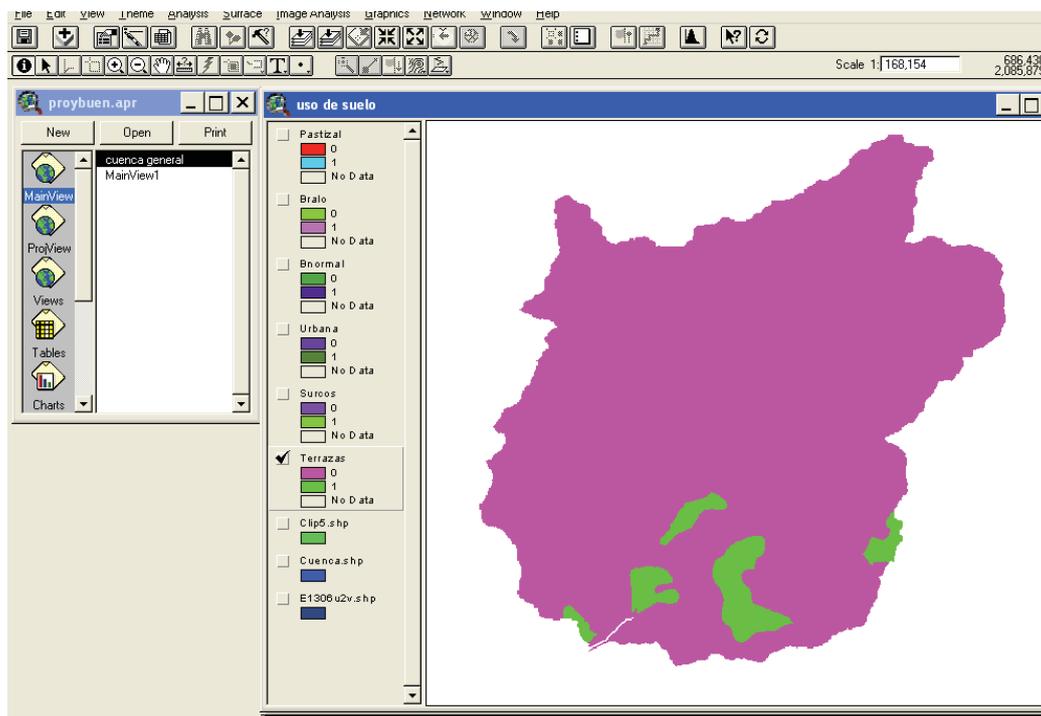


Figura 5.143, Mapa de Terrazas correspondiente a la tabla de Terrazas.

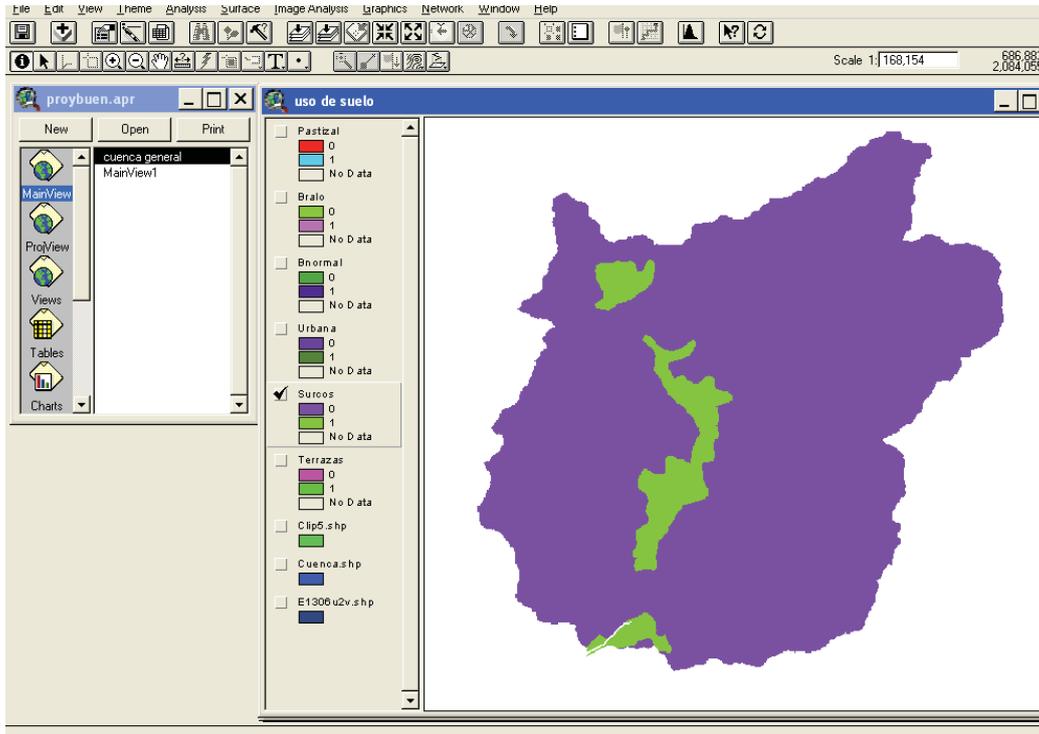


Figura 5.144, Mapa de surcos rectos correspondiente a la tabla de Surcos Rectos.

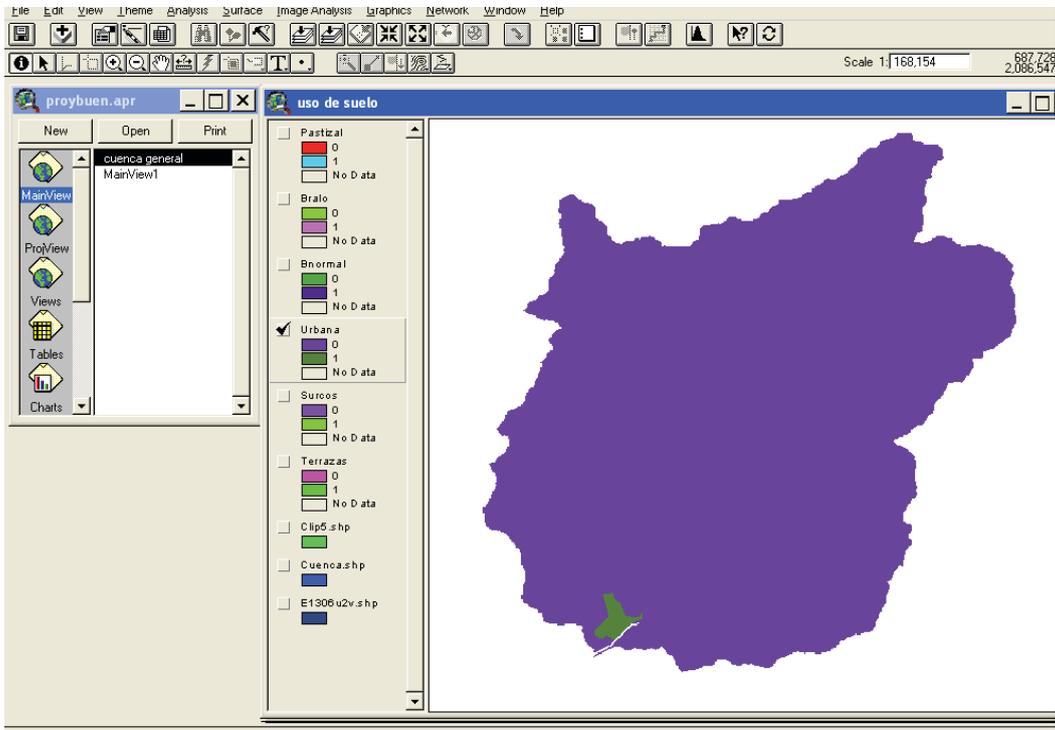


Figura 5.145, Mapa de Zona urbana correspondiente a la tabla de Zona urbana.

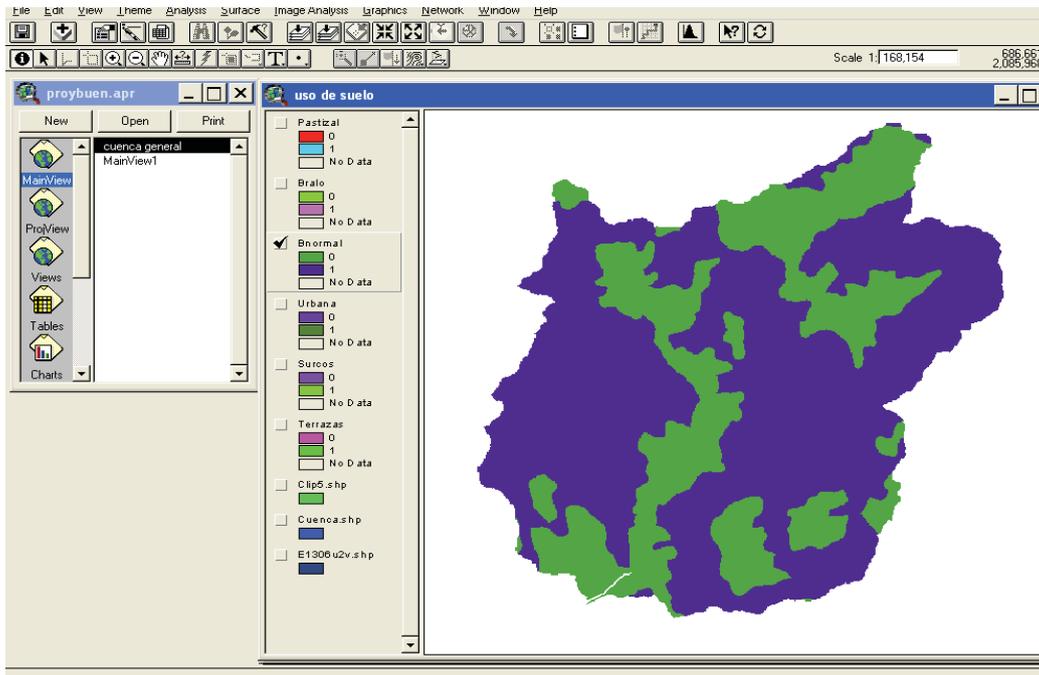


Figura 5.146, Mapa de Bosque Normal correspondiente a tabla de Bosque Normal.

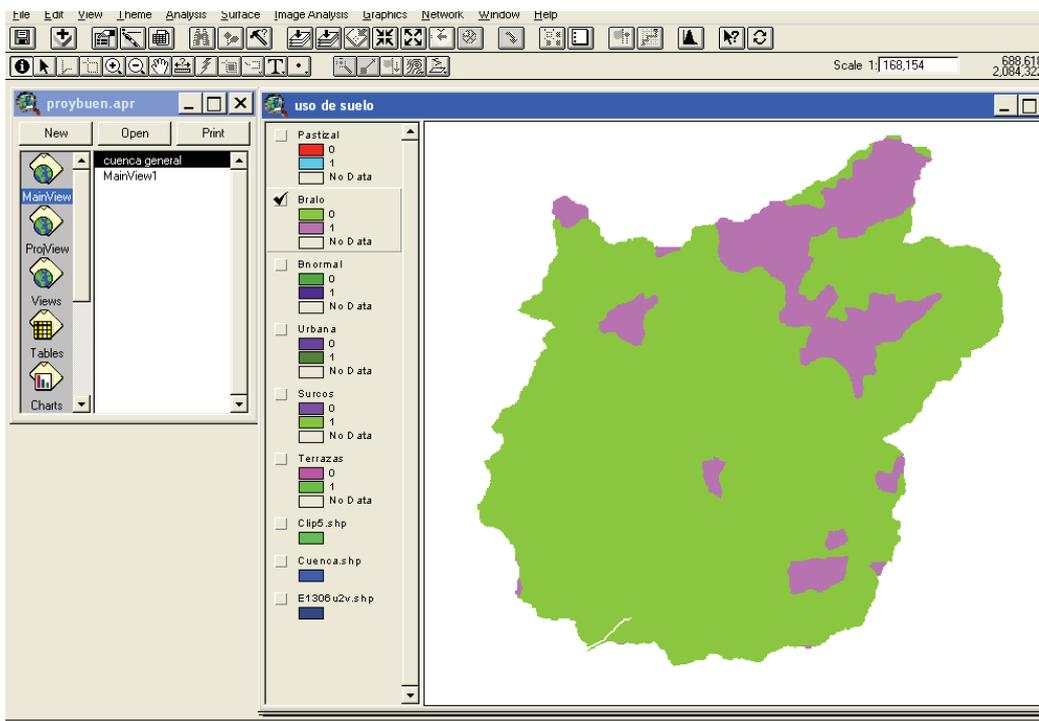


Figura 5.147, Mapa de Bosque Ralo correspondiente a la tabla de Bosque Ralo.

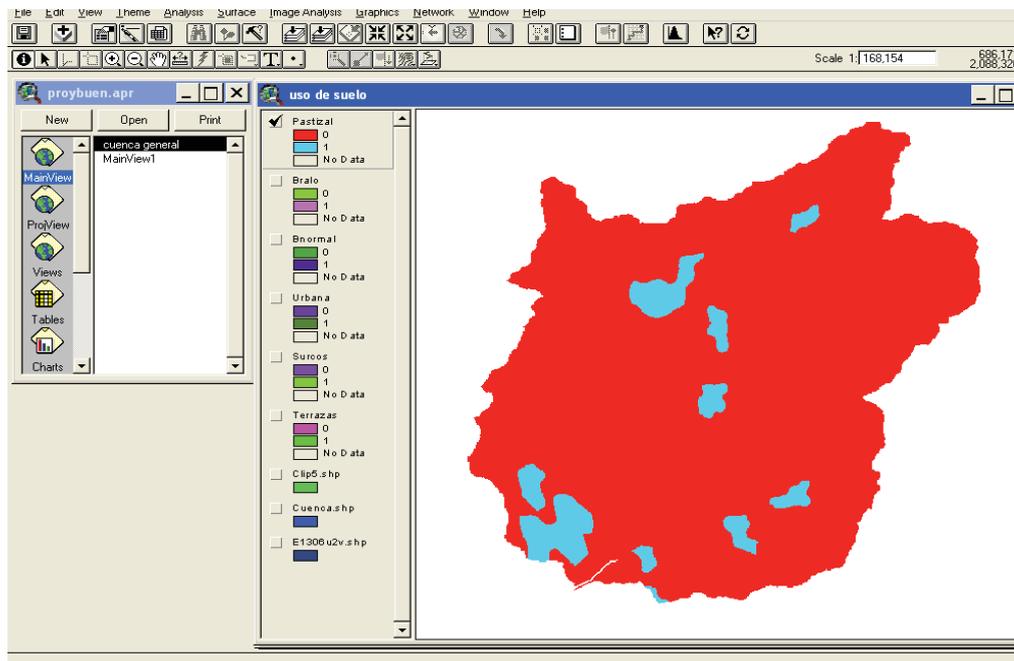


Figura 5.148, Mapa de pastizal correspondiente a la tabla de Pastizal.

D) USO DE GRID PARA LA OBTENCIÓN DEL MAPA NÚMERO DE ESCURIMIENTO.

Ya obtenidos los mapas anteriores haremos los cálculos de mapas para los diferentes Usos de Suelos de la siguiente manera, nos vamos a la ventana “Análisis – Map Calculator”, figura 5.149.

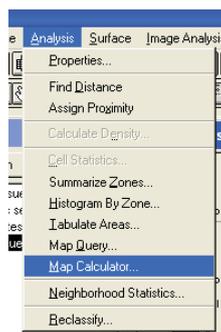


Figura 5.149, Pestaña “Analysis” mostrando la opción “Map Calculator”.

Siguiente a este paso nos mostrará otra ventana en la cual haremos multiplicaciones de los mapas obtenidos a lo largo de este tema, figura 5.150, (aquí la importancia de llevar los mapas en orden), las multiplicaciones principalmente serán de los mapas obtenidos de Uso de Suelo (arriba obtenidos), pendientes y la edafología, aclarando que serán multiplicados cada Uso de Suelo por separado.

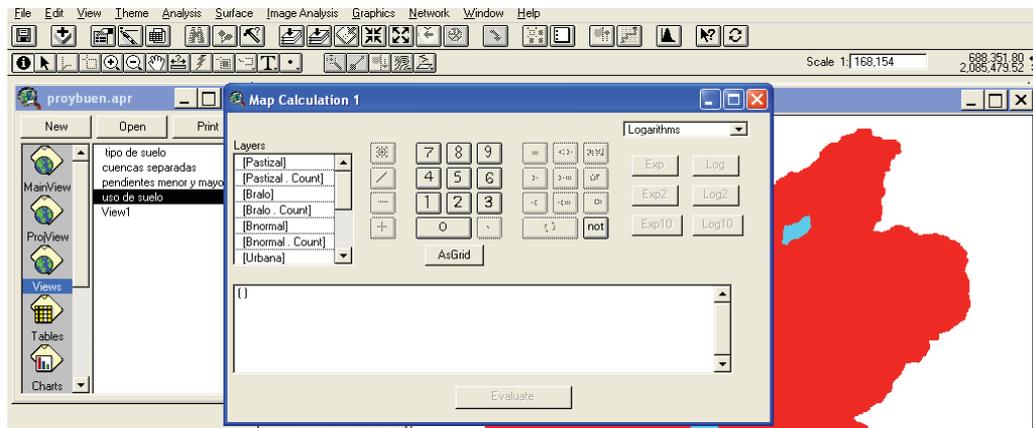


Figura 5.150, Ventana en la cual realizaremos los cálculos.

Ya mostrada la ventana de la figura 5.150, seleccionaremos los mapas que nos aparecen en la parte izquierda de la ventana (Layers) para ejecutar la operación correspondiente, figura 5.151, esta operación corresponde hacer la multiplicación de los tres tipos de mapas anteriormente obtenidos, pero como se menciona anteriormente, estas multiplicaciones se realizarán de tal manera que se cubran todas las opciones posibles, por ejemplo para el uso de suelo “Pastizal sus multiplicaciones serán las siguientes:

- 1.- $(\text{pendiente} > 1\%) * (\text{Gedafologia}) * (\text{Pastizal})$
- 2.- $(\text{pendiente} < 1\%) * (\text{Gedafologia}) * (\text{Pastizal})$

Nota: el “Grid” de “Geología” es el “Grid” reclasificado.

De esta manera obtendremos las multiplicaciones para cada tipo de suelo obtenido.

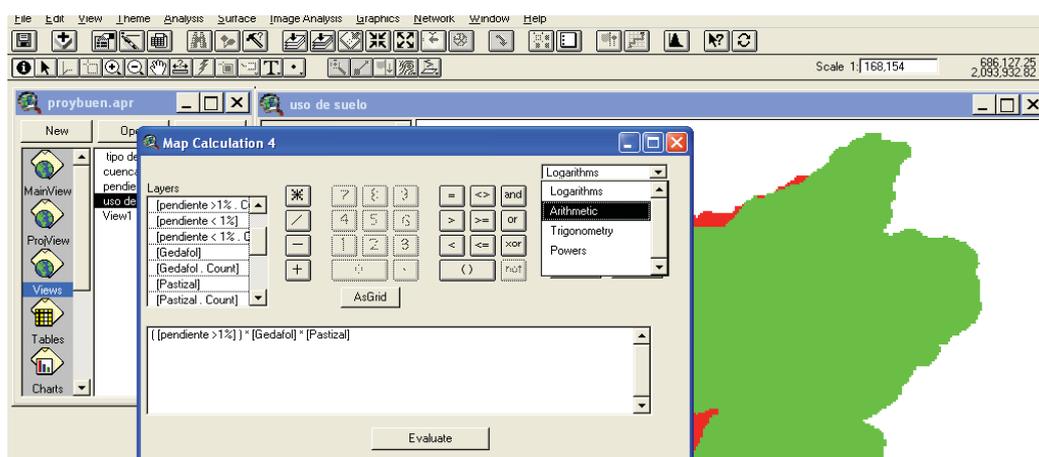


Figura 5.151, Muestra la manera de cómo nos deben de quedar las multiplicaciones en la ventana de “Map Calculation”.

Ya seleccionados los mapas para hacer la multiplicación, presionamos el botón “Evaluate”.

Hecha la operación anterior nos mostrará el siguiente mapa con el nombre de “Map Calculation”, figura 5.152.

Este primer mapa corresponde al “Mapa de Pastizal”, en la operación aparece el mapa de “pendiente > 1%” donde se tiene pastizal.

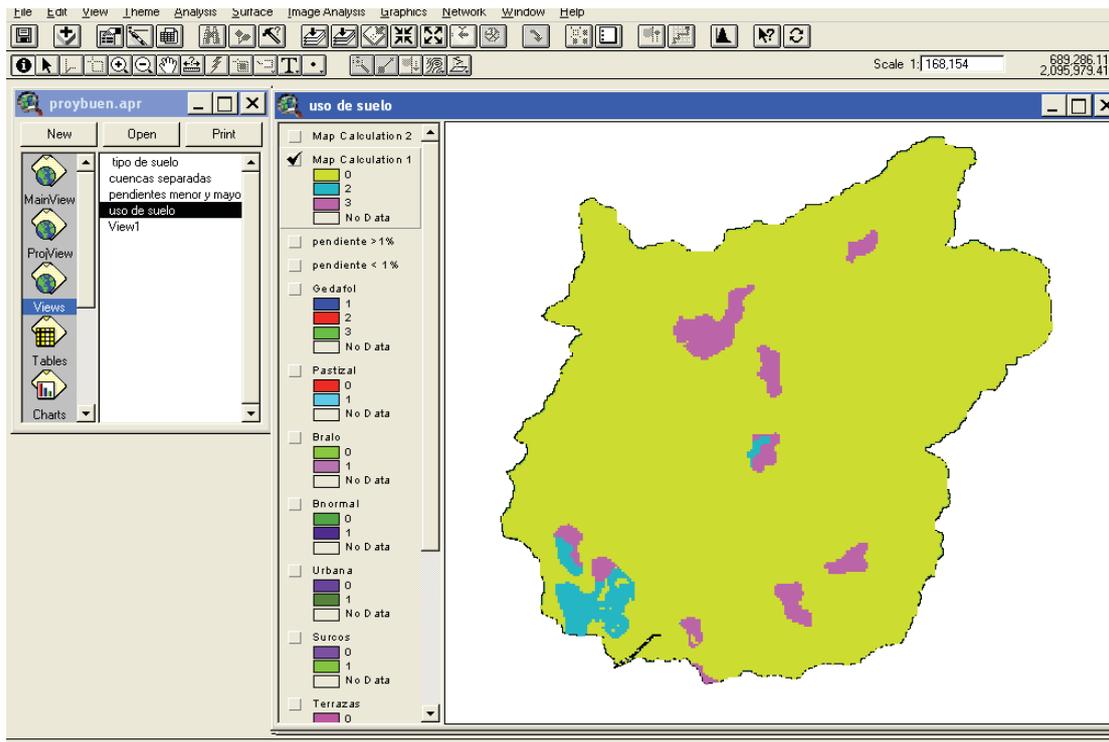


Figura 5.152, El color azul y morado corresponden a la porción del mapa donde se tiene pastizal con pendiente mayor al 1 %, el color azul corresponde a la parte del terreno tipo 2 y el color morado corresponde a la parte del terreno numero 3.

Para nuestro siguiente mapa la operación es la misma, la única diferencia es que solo cambiará el mapa de pendiente, ahora seleccionaremos el mapa de “pendiente < 1 %” y el mapa será el siguiente, figura 5.153.

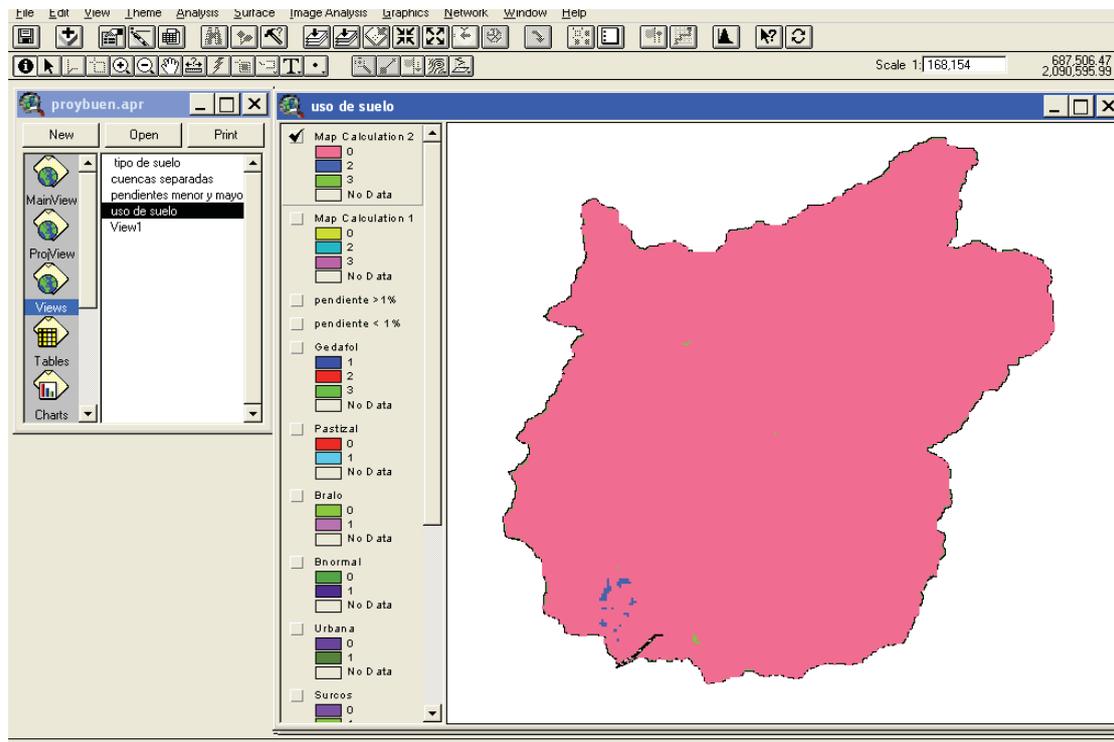


Figura 5.153, Muestra la zona del mapa con color azul y verde donde se tiene pastizal con una pendiente menor al 1%, el color azul corresponde al tipo de terreno 2 y el verde al tipo de terreno 3.

Nuestro siguiente mapa será el Mapa de Bosque Ralo y su multiplicación es la siguiente, figura 5.154.

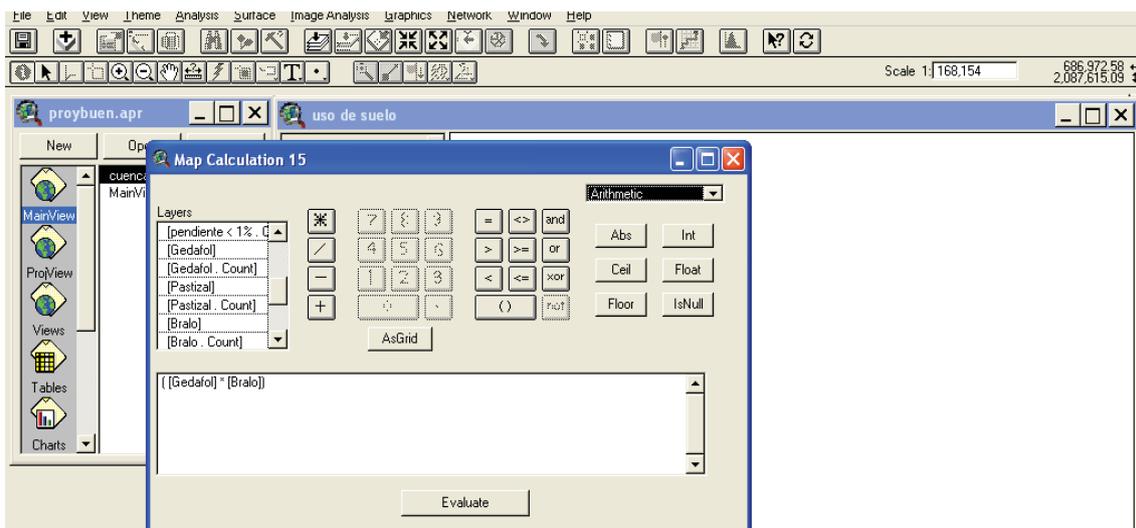


Figura 5.154, En este caso no se hace multiplicación por la pendiente, debido a que el número de escurrimiento a utilizar en bosque no se aplica.

El mapa obtenido de la multiplicación anterior es el siguiente, figura 5.155.

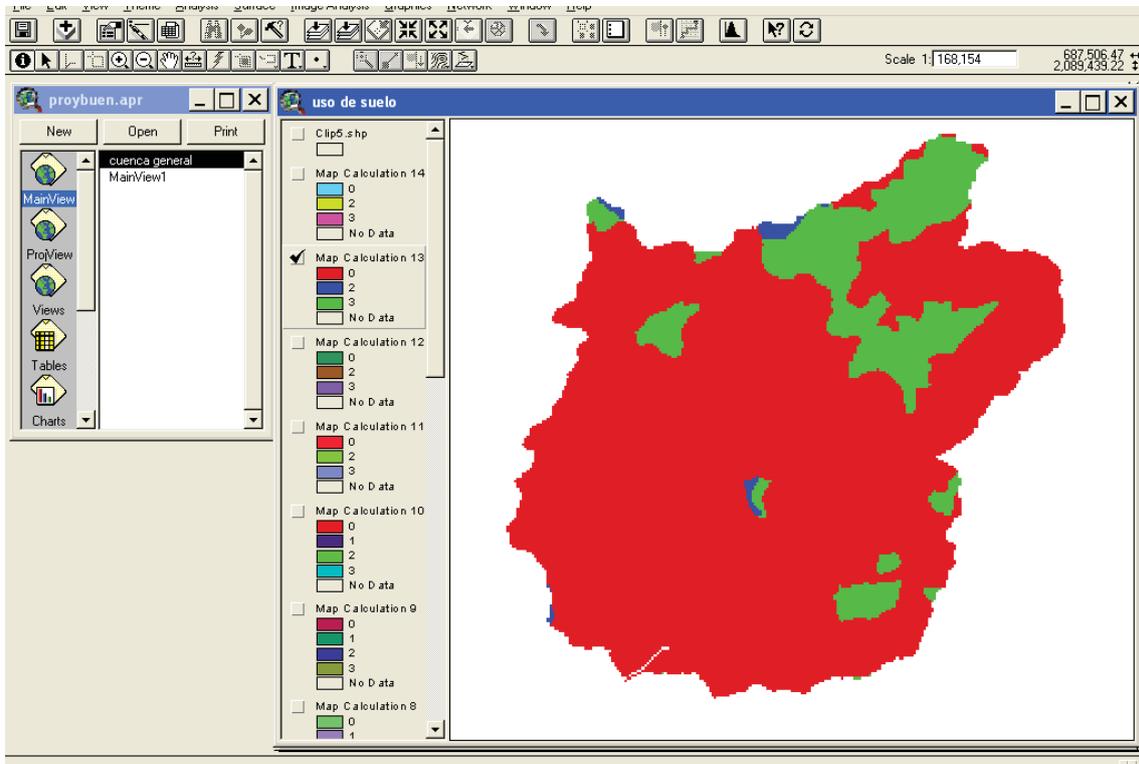


Figura 5.155, Muestra la zona de bosque, con los diferentes tipos de suelo.

El siguiente mapa a obtener es el de “Bosque normal” y su multiplicación es la siguiente, figura 5.156.

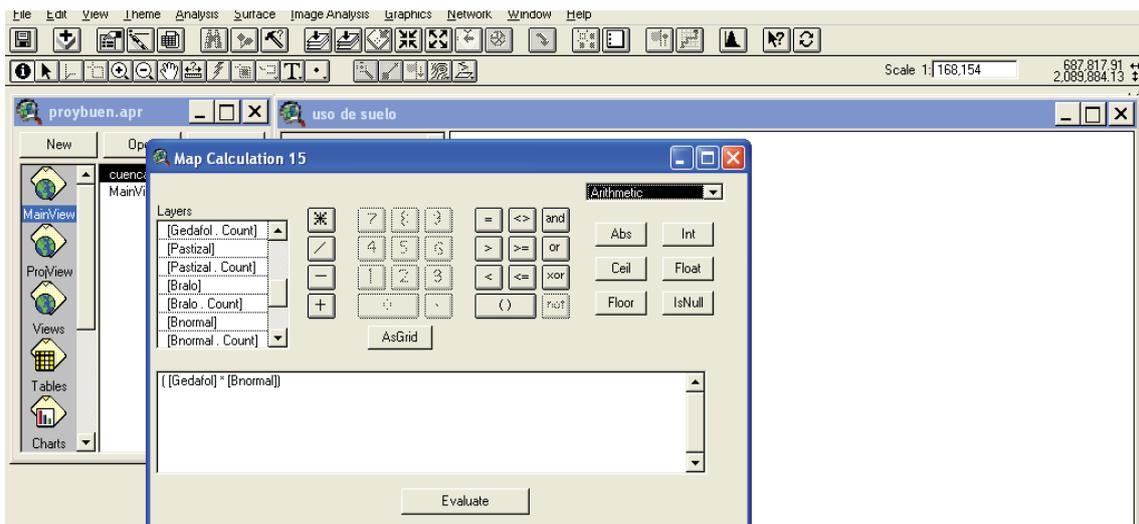


Figura 5.156, Multiplicación de la edafología y Uso de Suelo, por lo anteriormente mencionado.

El mapa obtenido de la operación anterior se muestra en la siguiente figura 5.157.

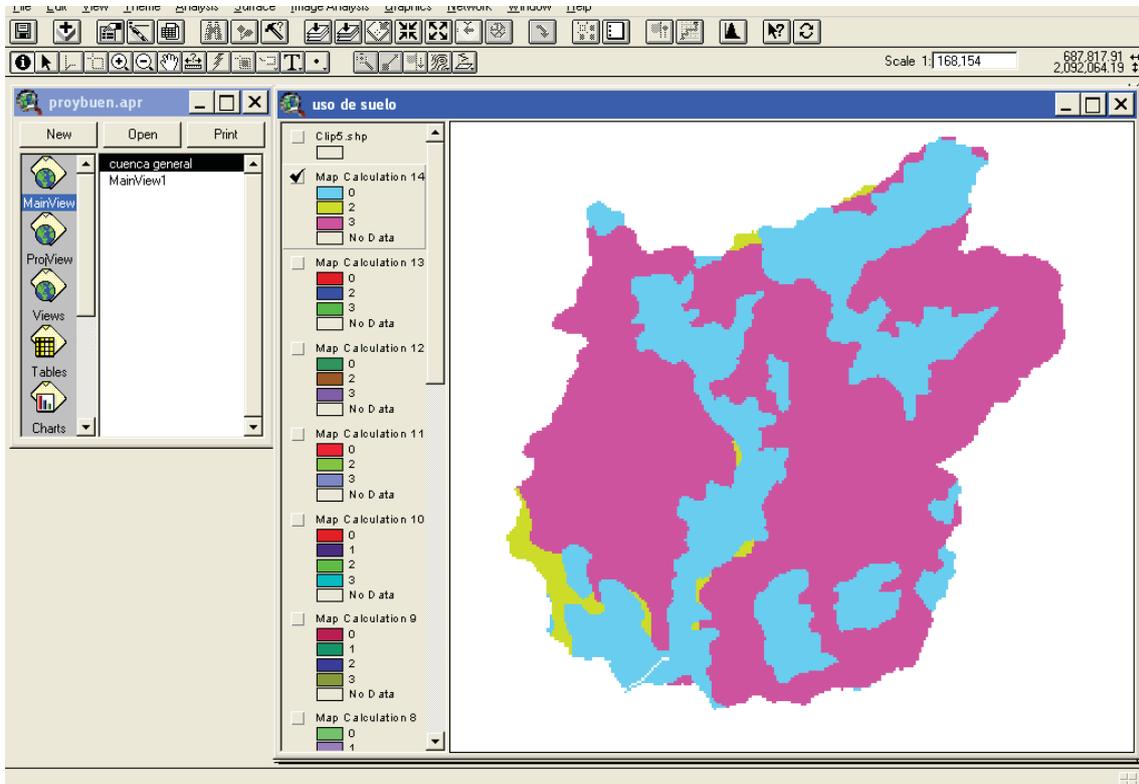


Figura 5.157, Muestra la zona con bosque normal y los diversos tipos de suelo.

El siguiente mapa a obtener es el de “zona urbana”, su multiplicación es la mostrada a continuación, figura 5.158.

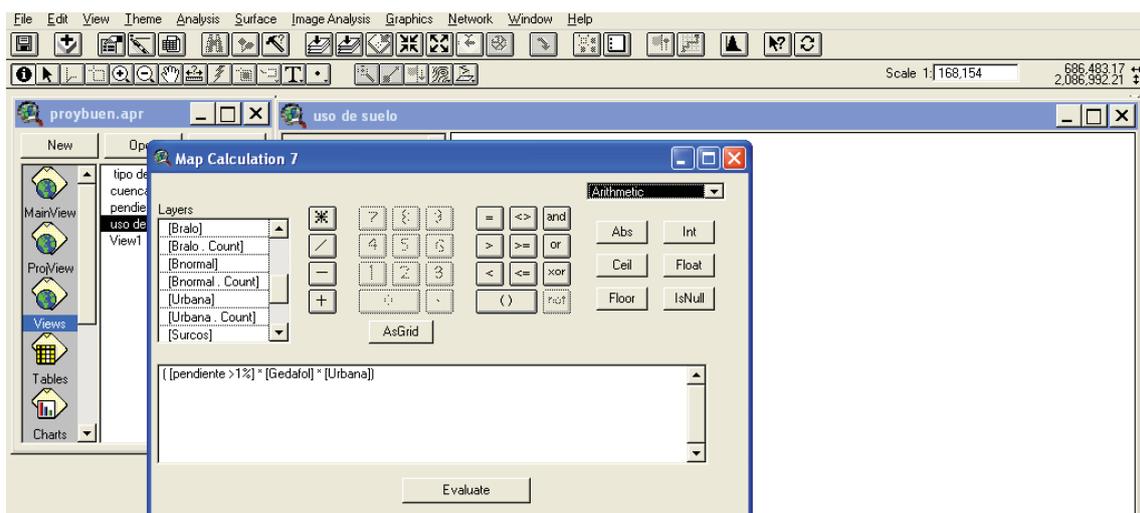


Figura 5.158, Muestra la manera de realizar la multiplicación de la zona urbana.

El mapa de la operación anterior es el siguiente, recordando que se multiplicó por “pendiente > 1%”, figura 5.159.

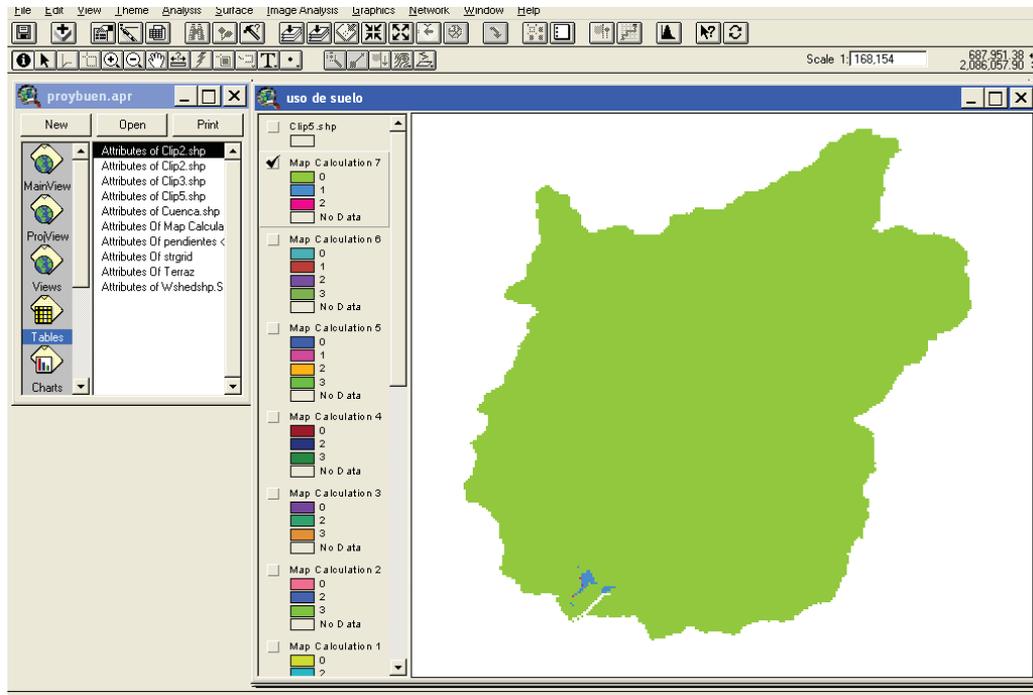


Figura 5.159, Área de la zona urbana con pendiente mayor al 1%.

El siguiente mapa a obtener es el de “zona urbana” multiplicado con el mapa de “pendiente < 1%” y la operación es la siguiente, figura 5.160.

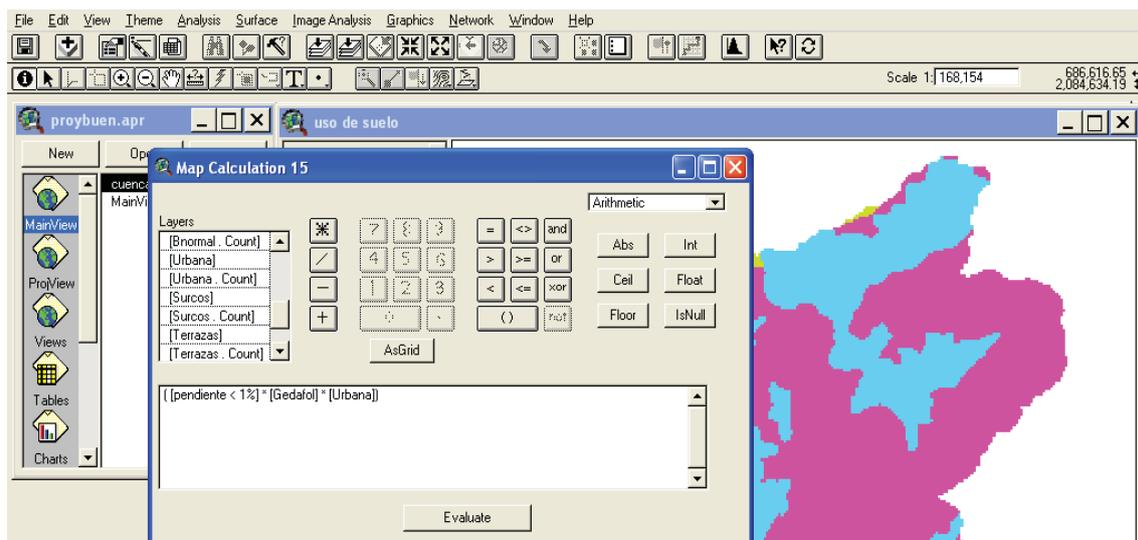


Figura 5.160, Muestra la multiplicación para la zona urbana en pendiente menor al 1%.

El resultado de la operación anterior es el mapa que se muestra a continuación, figura 5.161.

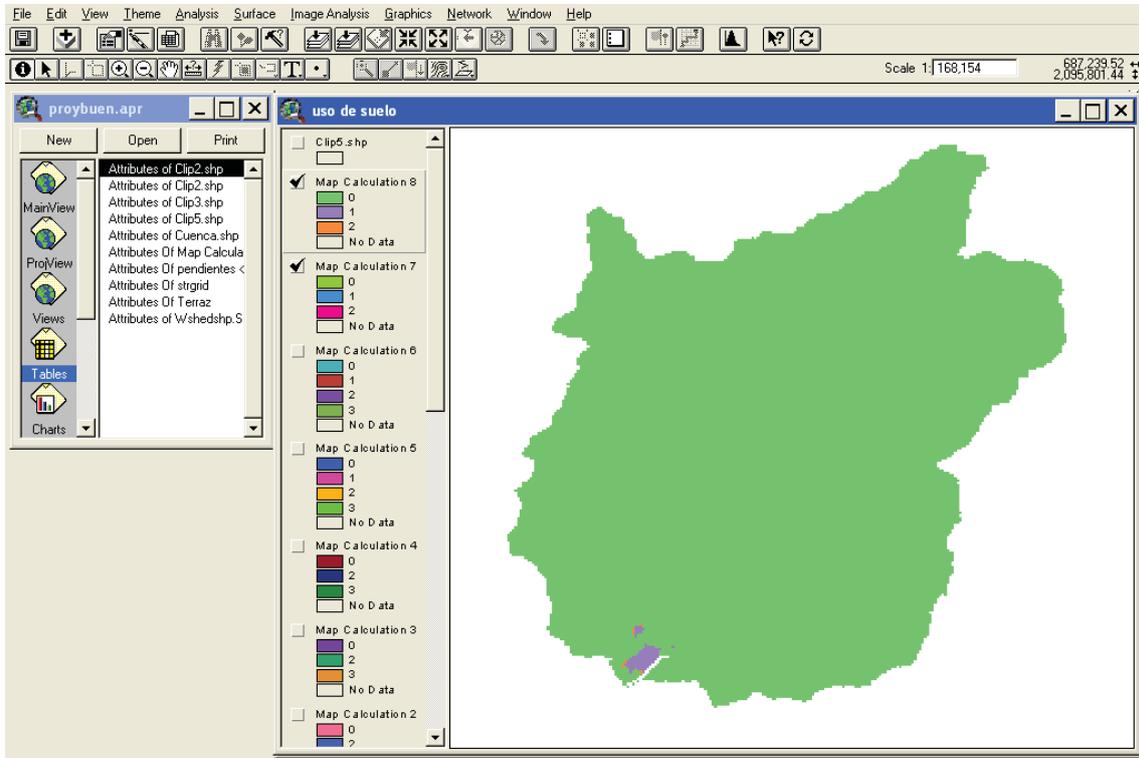


Figura 5.161, Zona urbana con pendiente menor al 1%.

La siguiente operación es para la obtención del mapa de “surcos”, figura 5.162.

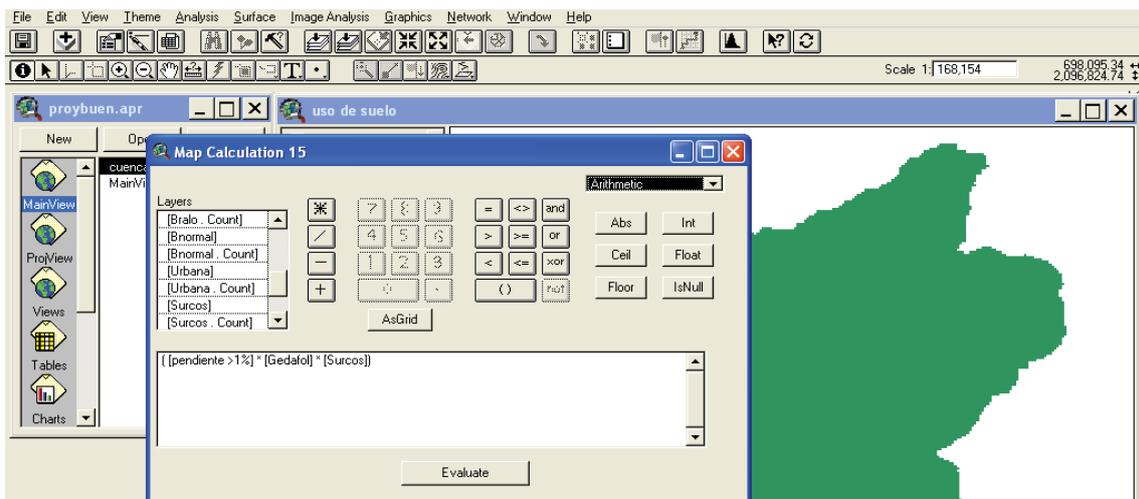


Figura 5.162, Operación para surcos con pendiente mayor al 1%.

El resultado de la operación mostrada en la figura 5.162 es el mapa mostrado en la figura 5.163.

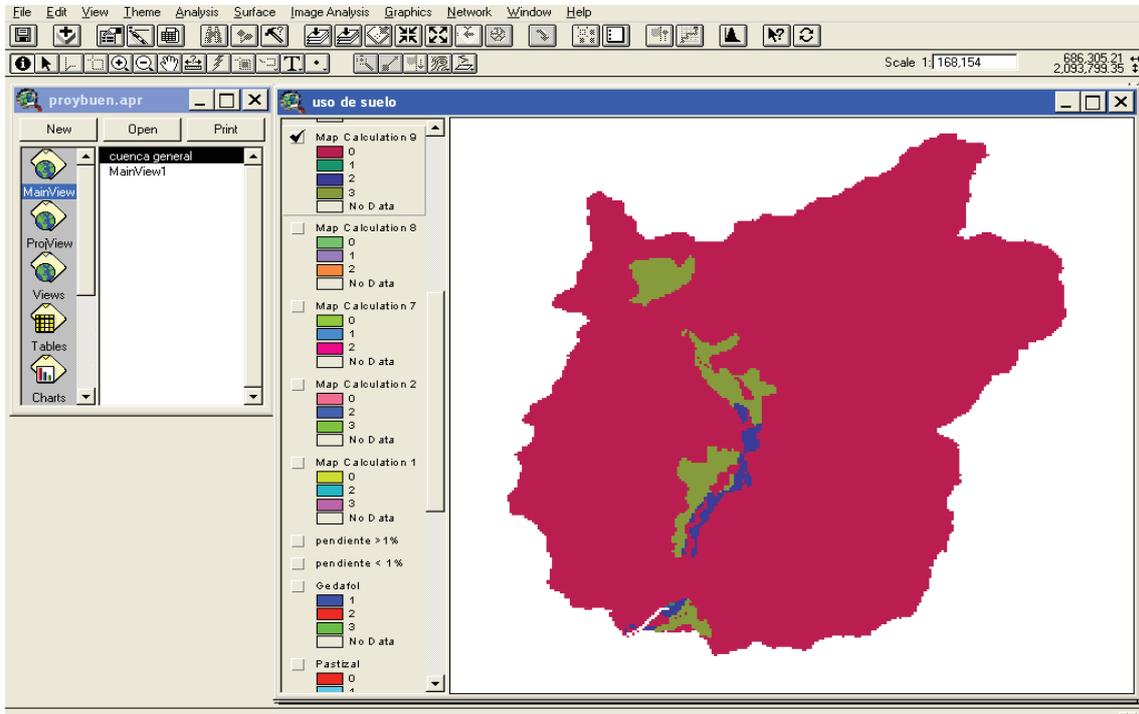


Figura 5.163, Área de surcos con la pendiente mayor al 1%.

Siguiendo con la obtención de mapas continuaremos con el complemento del mapa de “surcos”, esto es, multiplicar por el mapa de “pendiente < 1%”, figura 5.164.

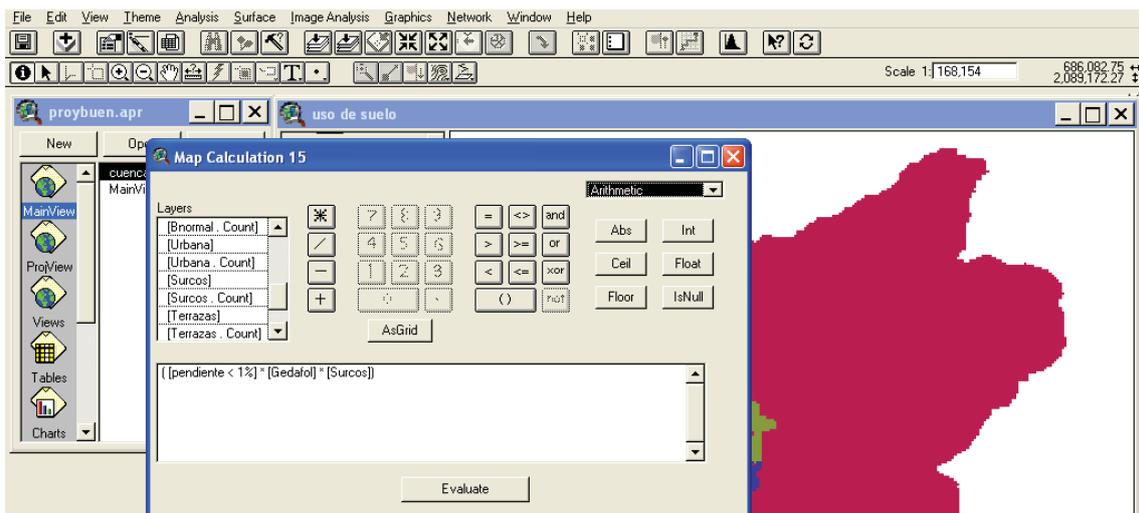


Figura 5.164, Ecuación para la obtención de la parte faltante para surcos.

El resultado del mapa de la operación hecha anteriormente es el siguiente, figura 5.165.

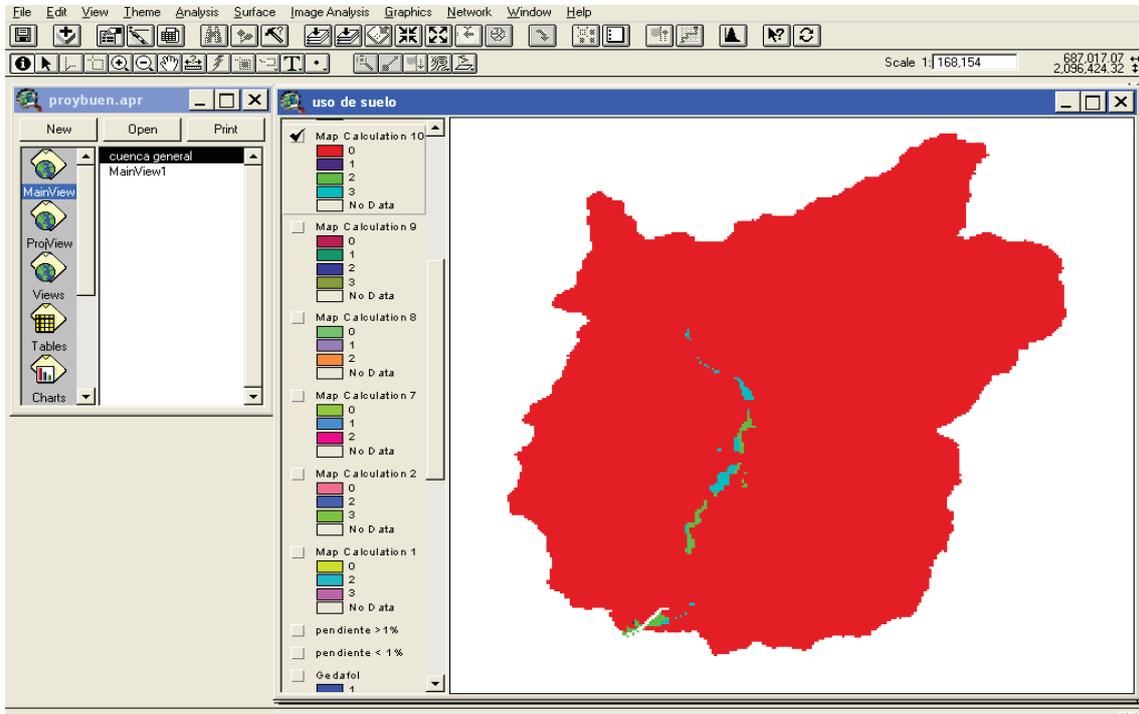


Figura 5.165, Obtención del complemento del mapa de la zona de surcos.

El siguiente y penúltimo mapa a obtener, es el mapa de “terrazas” y como lo hemos estado manejando en los mapas anteriores, su multiplicación será primero con el mapa de “pendiente > 1%”, figura 5.166.

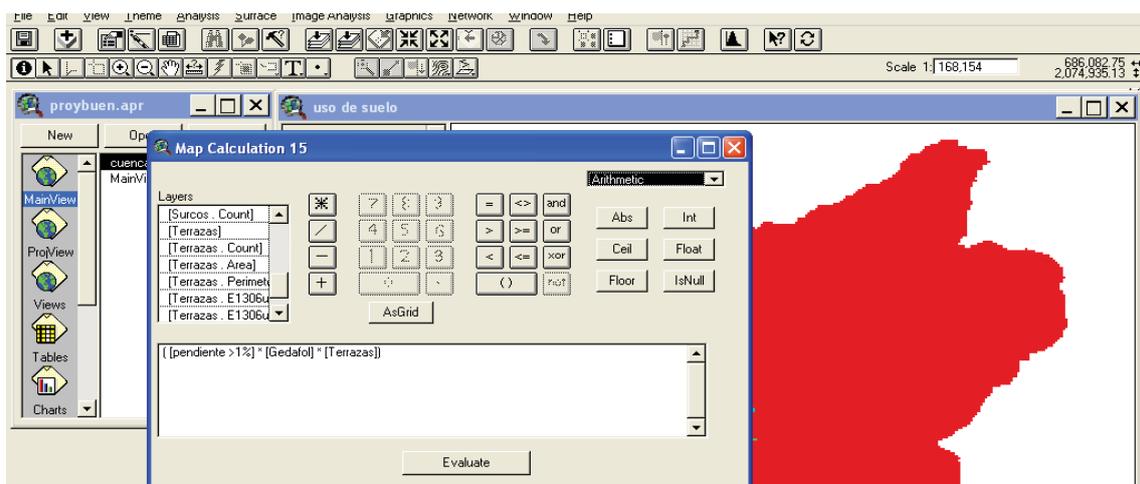


Figura 5.166, Muestra la operación para terrazas.

A continuación se muestra el mapa del resultado de la operación anterior, figura 5.167.

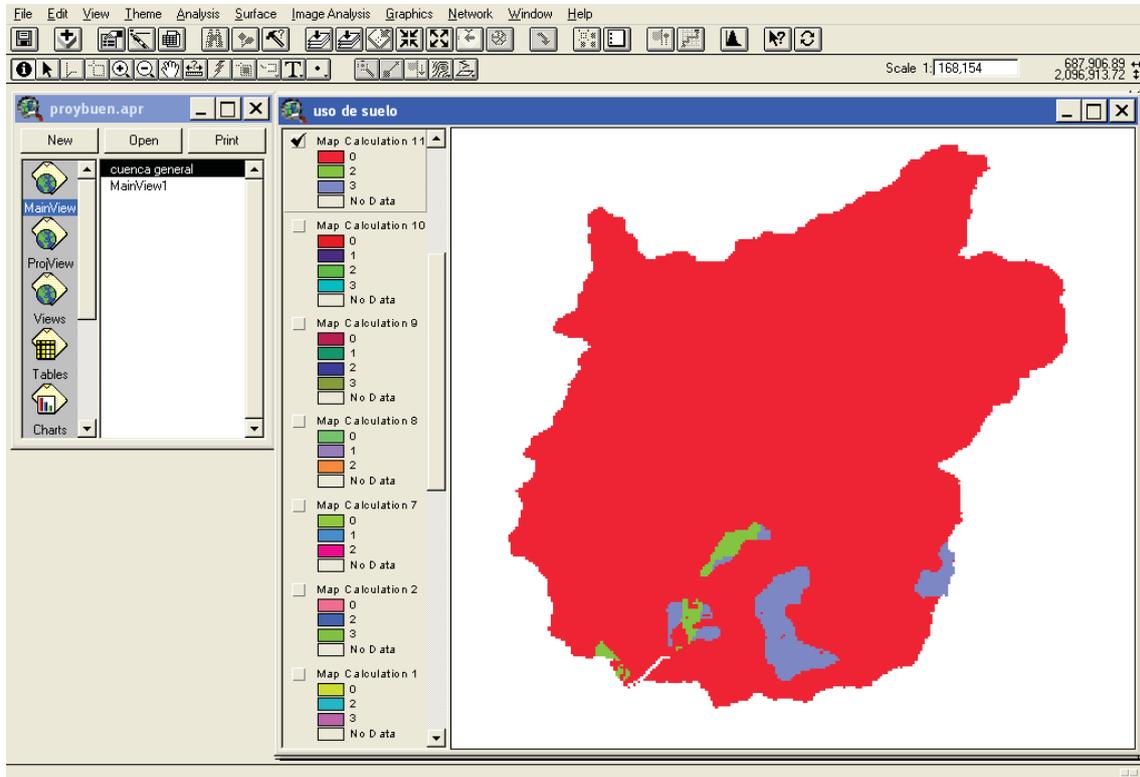


Figura 5.167, Zona de terrazas mayores al 1%.

El ultimo mapa a obtener es el de “terrazas”, la operación se muestra en la parte de abajo, figura 5.168, y es multiplicado por el mapa de “pendiente < 1%”.

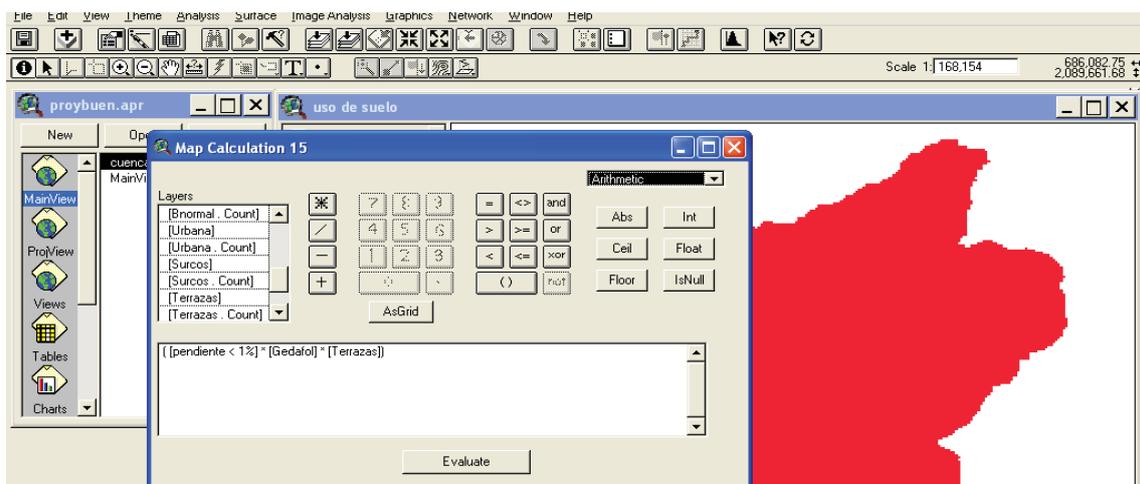


Figura 5.168, complemento para el mapa de terrazas.

El ultimo mapa a obtener es el de “terrazas” con “pendiente < 1%”, figura 5.169.

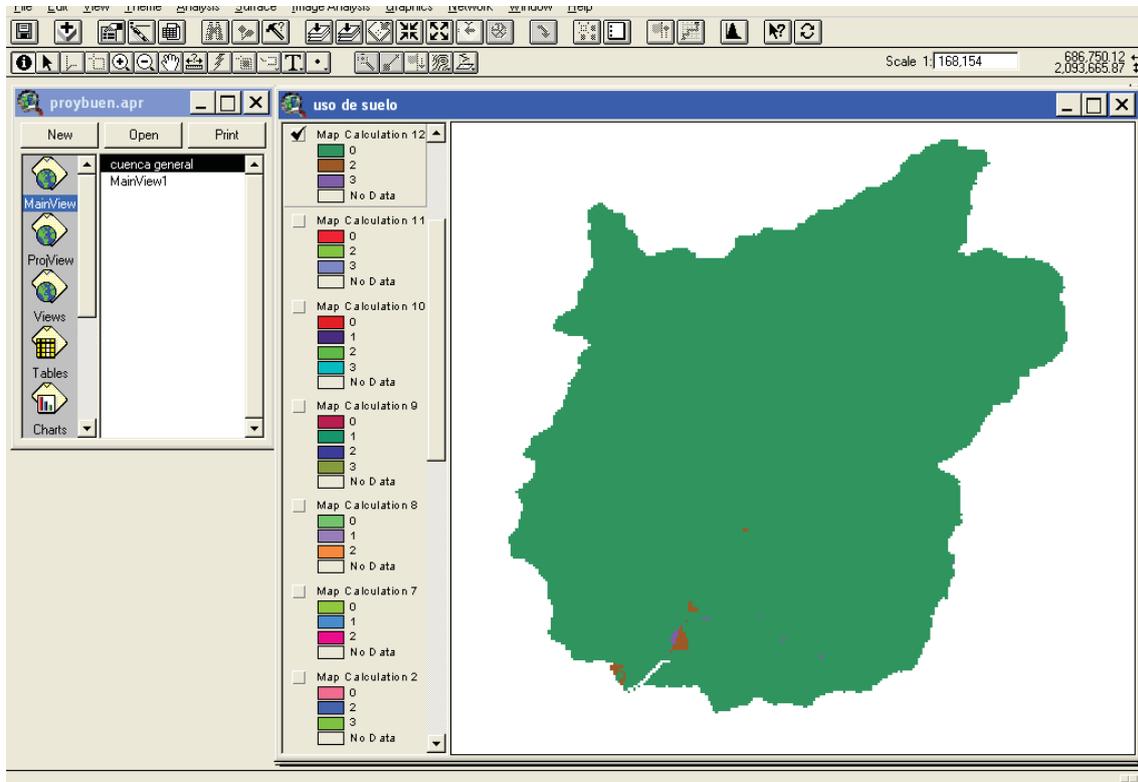


Figura 5.169, Muestra el área de complemento de terrazas.

Cabe mencionar que para las entidades de bosque normal y bosque ralo no aplica el criterio de pendiente, por lo que solamente se multiplica el tema de uso de suelo por el de tipo de suelo. Para el uso de suelo “agua” no se efectúa ninguna operación ya que esta no genera escurrimiento.

Ya obtenidos los mapas que buscábamos haremos una reclasificación de los mismos, esto se hará con la siguiente tabla de valores (tabla 4) para determinar el mapa final con sus “Números de Curva” que es el mapa que finalmente deseamos encontrar. Esta tabla nos mostrará valores para pendientes menores y mayores al 1%, ya que para los mapas arriba encontrados si recordamos, encontramos mapas multiplicando por la pendiente menor y mayor al 1%.

(Fuente: Aparicio M. F., Fundamentos de Hidrología de Superficie, Editorial Limusa).

Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente del terreno %	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Sin cultivo	Surcos rectos	**	77	86	91	94
Cultivos en surco	surcos rectos	>1	72	81	88	91
	surcos rectos	<1	67	78	85	89
	Contorneo	>1	70	79	84	88
	Contorneo	<1	65	75	82	86
	Terrazas	>1	66	74	80	82
	Terrazas	<1	62	71	78	81
Cereales	surcos rectos	>1	65	76	84	88
	surcos rectos	<1	63	75	83	87
	Contorneo	>1	63	74	82	85
	Contorneo	<1	61	73	81	84
	Terrazas	>1	61	72	79	82
	Terrazas	<1	59	70	78	81
Leguminosas ó praderas en rotación	surcos rectos	>1	66	77	85	89
	surcos rectos	<1	58	72	81	85
	Contorneo	>1	64	75	83	85
	Contorneo	<1	55	69	78	83
	Terrazas	>1	63	73	80	83
	Terrazas	<1	51	67	76	80
Pastizales	*****	>1	68	79	86	89
	*****	<1	39	61	74	80
	Contorneo	>1	47	67	81	88
	Contorneo	<1	6	35	70	79
Pradera permanente	*****	<1	30	58	71	78
Bosques naturales						
Muy ralo	*****	**	56	75	86	91
Ralo	*****	**	46	68	78	84
Normal	*****	**	36	60	70	77
Espeso	*****	**	26	52	62	69
Muy espeso	*****	**	15	44	54	61
Caminos						
De terracería	*****	**	72	82	87	89
De superficie muy dura	*****	**	74	84	90	92

Tabla 4.

La reclasificación la haremos de la siguiente manera, en el programa de “ArcView 3.2”, nos vamos a la pestaña de (Analysis – Reclassify), figura 5.170.

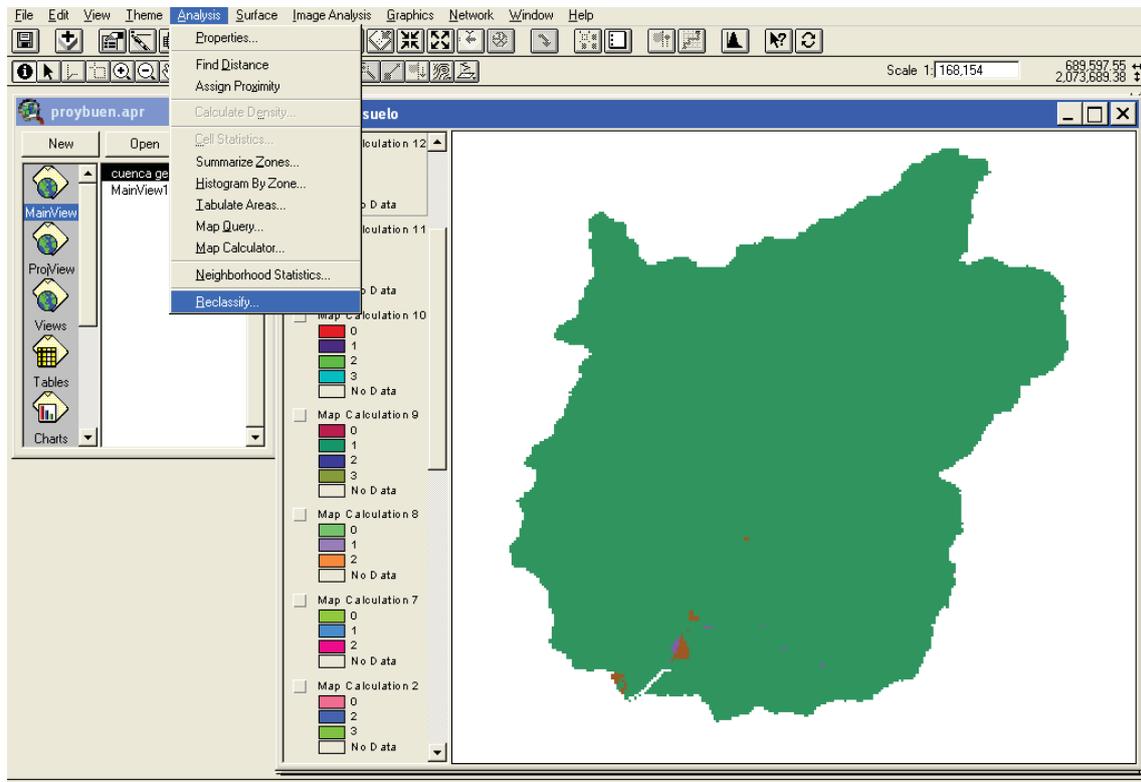


Figura 5.170, Pestaña “Analysis” mostrando la opción “Reclassify”.

Nos aparecerá una ventana con los valores obtenidos al hacer la operación del “cálculo de mapas”, figura 5.171, aquí es muy importante saber el orden de obtención de los mapas y que mapa corresponde a cada operación pendiente > 1% y pendiente < 1%, debido a que de esto dependen los valores correspondientes a la reclasificación.

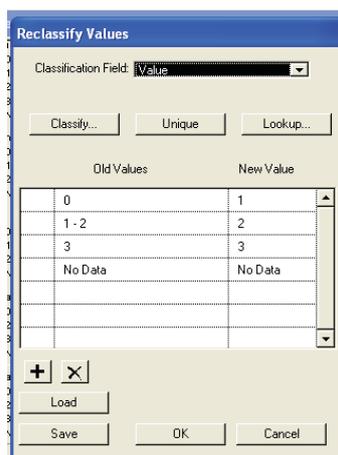


Figura 5.171, Ventana “Reclassify Values”.

Nuestra primera Reclasificación será para los mapas de “Pastizales”, se harán dos reclasificaciones, una para pendiente > 1% y la otra para pendiente < 1%, los valores serán introducidos en la reclasificación de acuerdo a la tabla 4, a continuación se muestra la primera reclasificación para “Pastizal – pendiente > 1%”, figura 5.172.

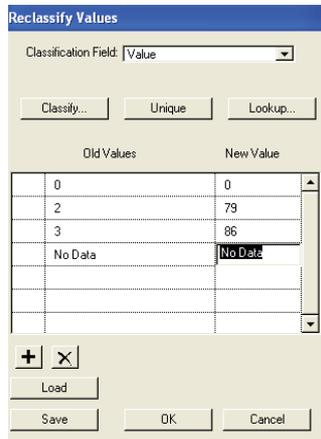


Figura 5.172, los valores de la columna “Old Values” corresponden a hacer los valores del tipo de suelo, además nos muestra la forma como se modificaron los valores de la columna “New Value”.

A continuación se muestra el mapa obtenido de la reclasificación de “pastizal – pendiente > 1%”, figura 5.173.

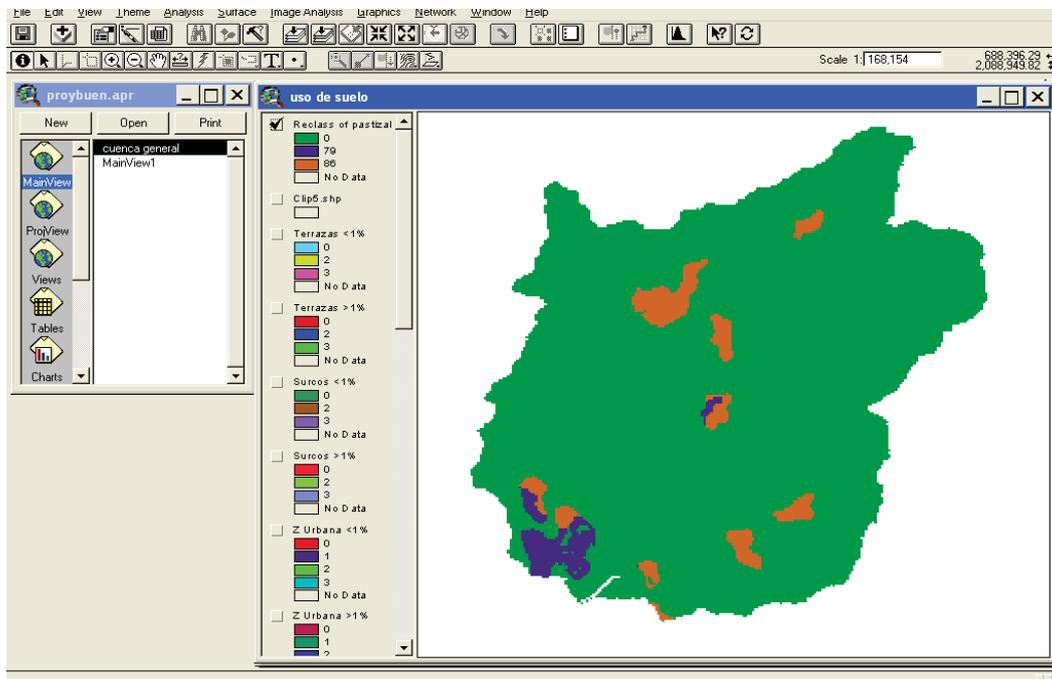


Figura 5.173, En la clasificación se puede observar claramente los valores de cada área obtenidos de la tabla 4, esos valores corresponden al número de escurrimiento pero para solo la porción de terreno mostrada en la figura, correspondientes a los colores naranja y morado.

El siguiente mapa es el complemento del mapa de pastizal, ahora los nuevos valores serán para “pendiente < 1%”, figura 5.174.

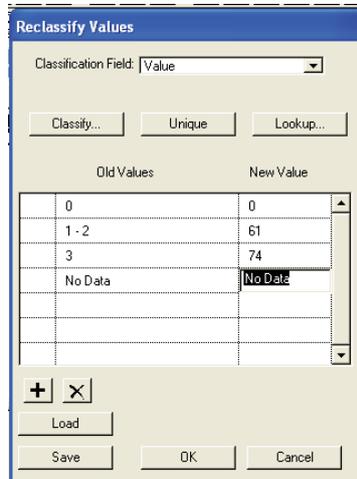


Figura 5.174, Reclasificación para pastizal con pendiente < 1%.

El mapa que se muestra a continuación es el resultado de la operación hecha anteriormente, correspondiente a la reclasificación de “pastizal – pendiente < 1%”, figura 5.175.

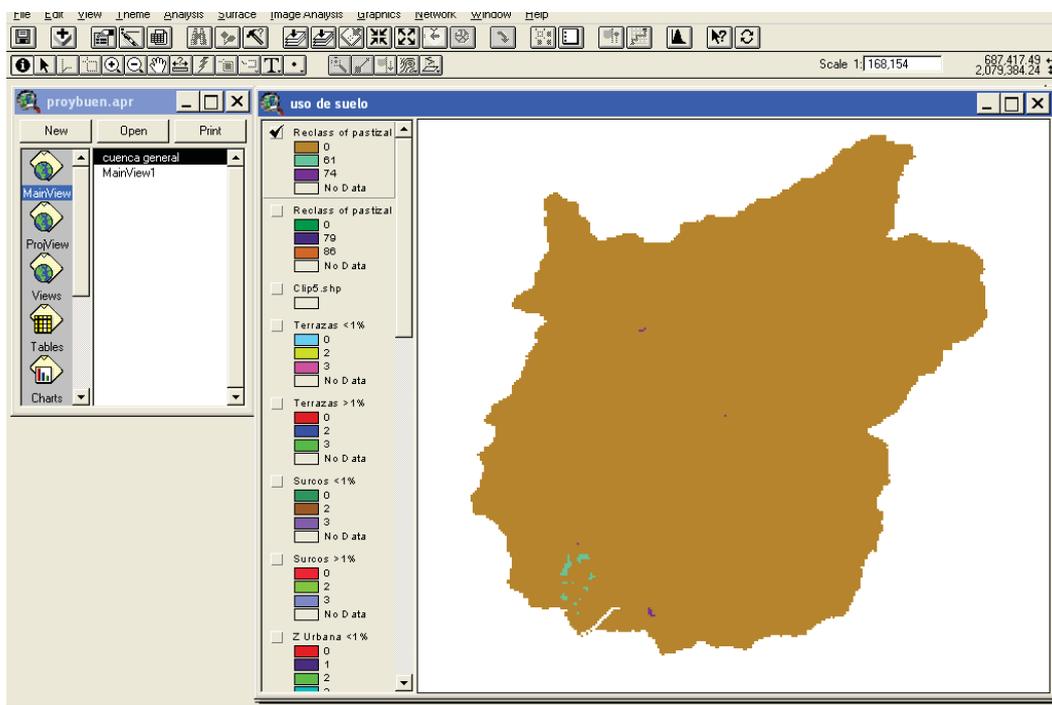


Figura 5.175, Mapa complementario del pastizal con pendiente < 1%.

La siguiente reclasificación corresponde al mapa de “Zona Urbana” y pendiente > 1%, los valores de acuerdo a la tabla son los mostrados, figura 5.176.

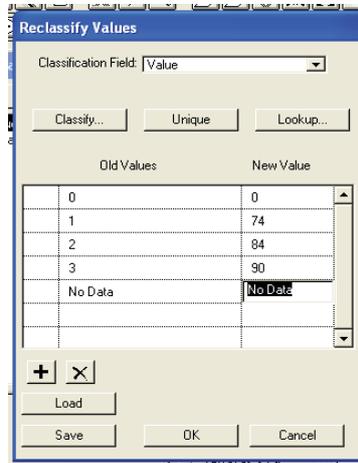


Figura 5.176, Reclasificación para zona urbana con pendiente > 1%.

Hecha la operación anterior obtenemos el mapa siguiente, figura 5.177.

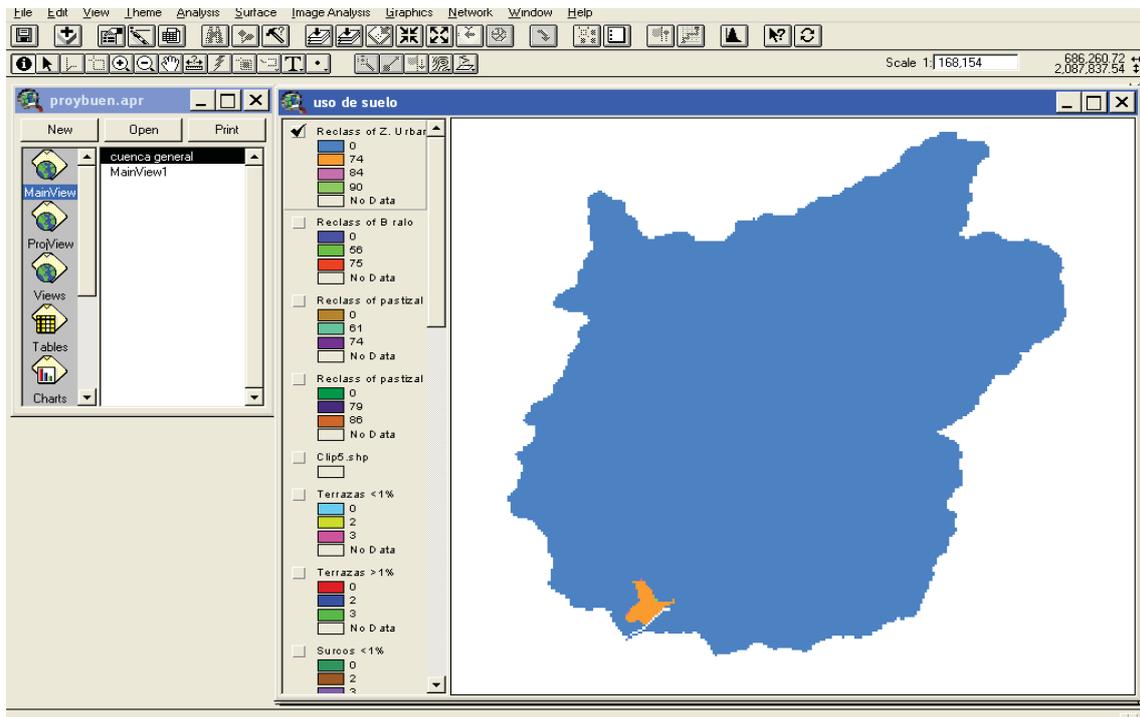


Figura 5.177, Reclasificación de la zona urbana con pendiente > 1%.

Nuestro siguiente reclasificación corresponde al “Bosque ralo”, recordemos que para este caso no se multiplico por los mapas de pendientes, así que obtendremos solamente un mapa el cual lo reclasificamos, figura 5.178.

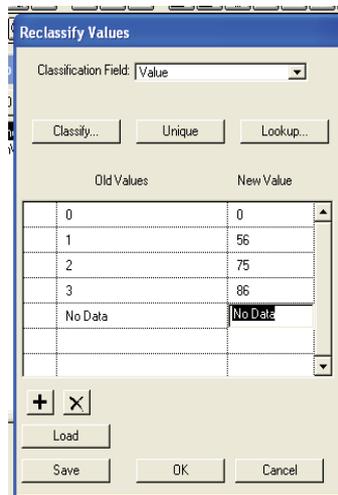


Figura 5.178, Ventana para reclasificar Bosque ralo.

El siguiente mapa corresponde a la operación hecha anteriormente, figura 5.179.

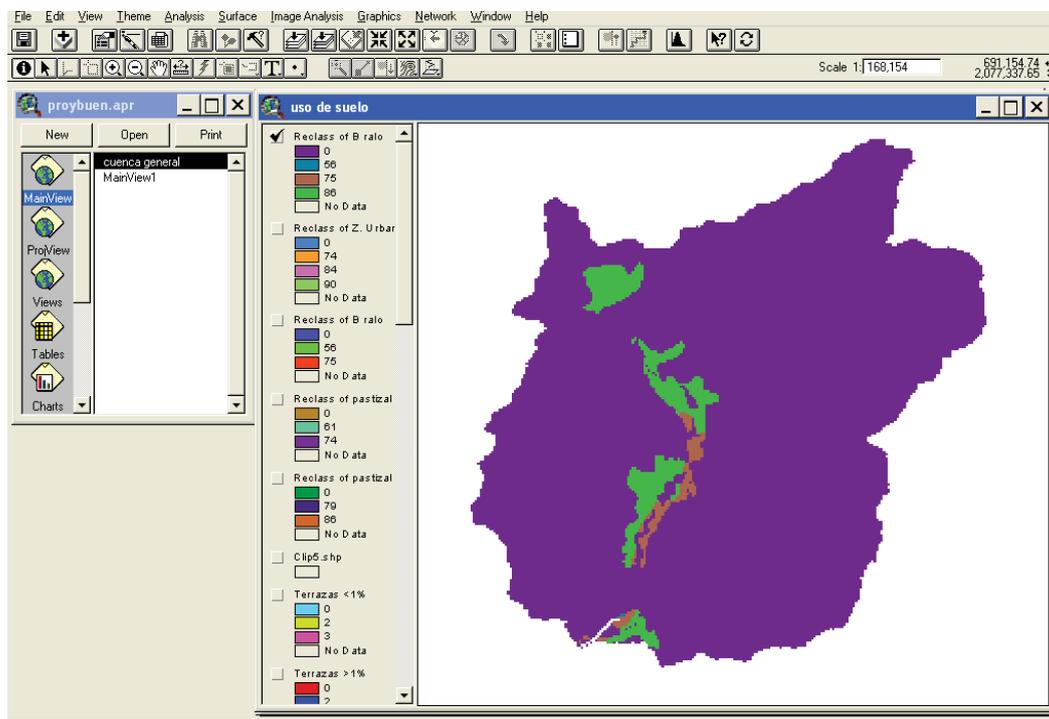


Figura 5.179, Reclasificación de bosque ralo.

La siguiente operación corresponde al cálculo del mapa de “Bosque normal”, con los valores correspondientes de acuerdo a la tabla 4, figura 5.180.

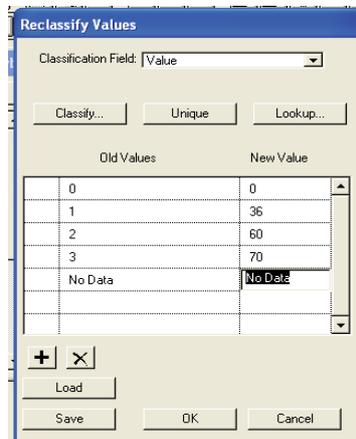


Figura 5.180, Ventana para reclasificar Bosque normal.

Mapa correspondiente al cálculo de la operación anterior, figura 5.181.

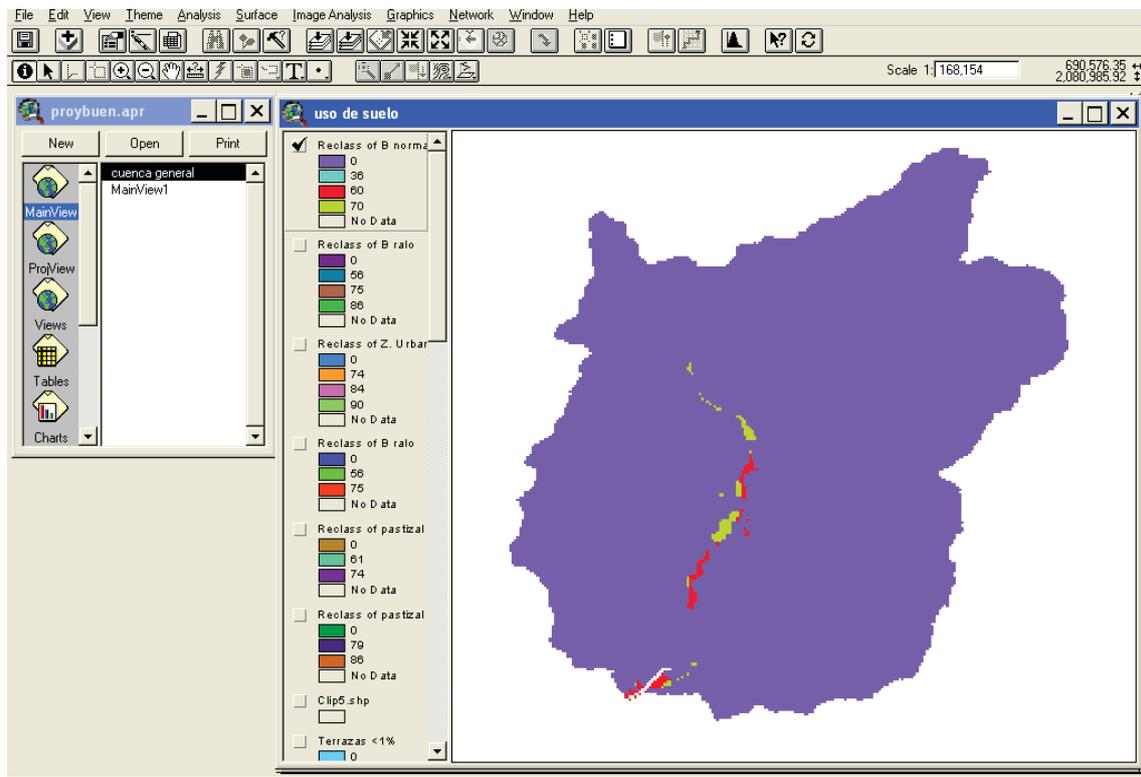


Figura 5.181, Reclasificación del bosque normal.

La siguiente operación corresponde al mapa de “surcos”, se muestra la ventana con sus valores correspondientes para pendiente > 1%, figura 5.182.

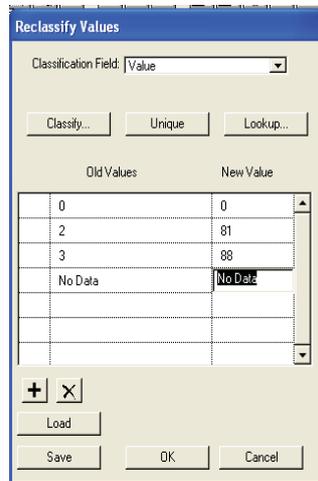


Figura 5.182, Ventana para reclasificar el mapa de surcos con pendiente > 1%.

El mapa mostrado abajo es el obtenido de la reclasificación con sus valores correspondientes, “surcos – pendiente > 1%”, figura 5.183.

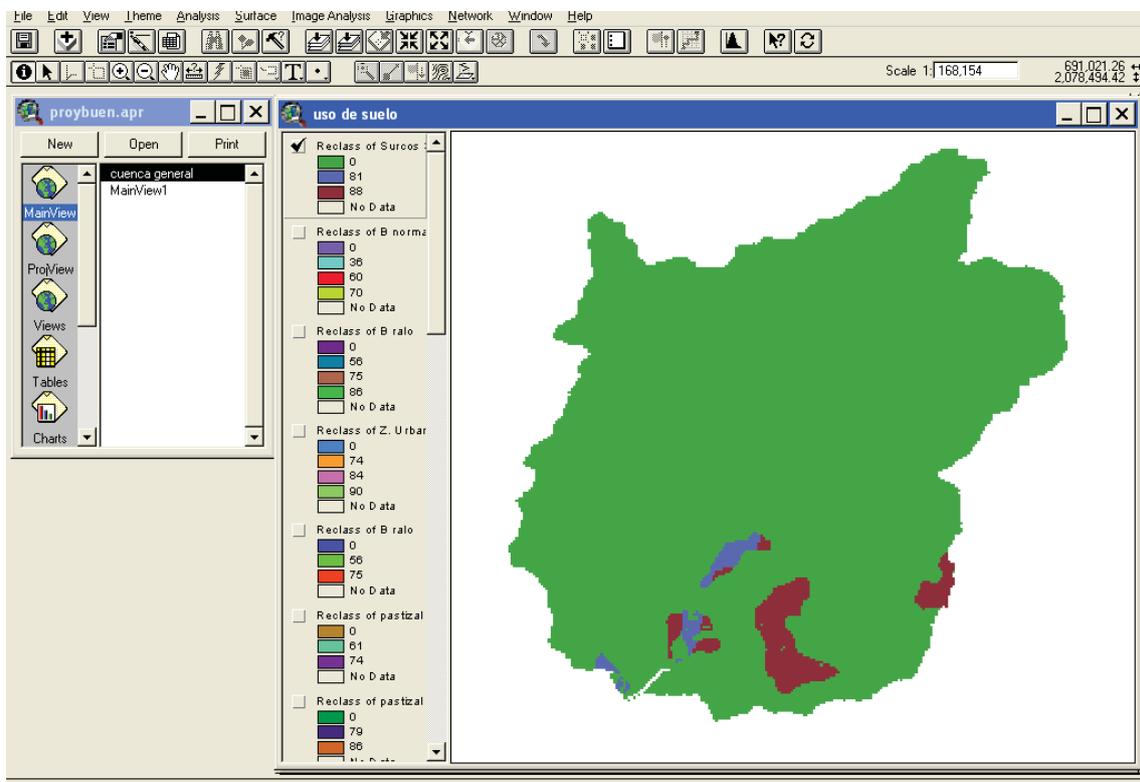


Figura 5.183, Reclasificación de surcos para la pendiente > 1%.

Este mapa es el complemento del mapa anterior (figura 5.168), este pertenece al mapa de “surcos – pendiente < 1%” con los valores obtenidos de la tabla 4, figura 5.184.

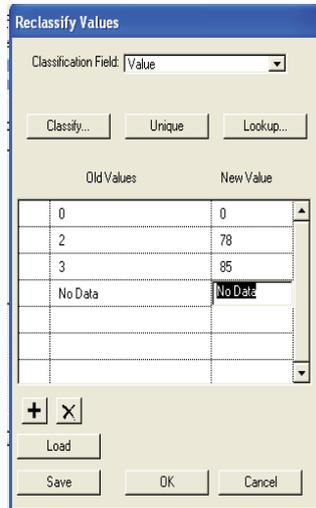


Figura 5.184, Ventana para reclasificar el mapa complementario de surcos con pendiente < 1%.

Abajo se muestra el resultado de la operación anterior, es la reclasificación de surcos con sus valores correspondientes a la pendiente < 1%, figura 5.185.

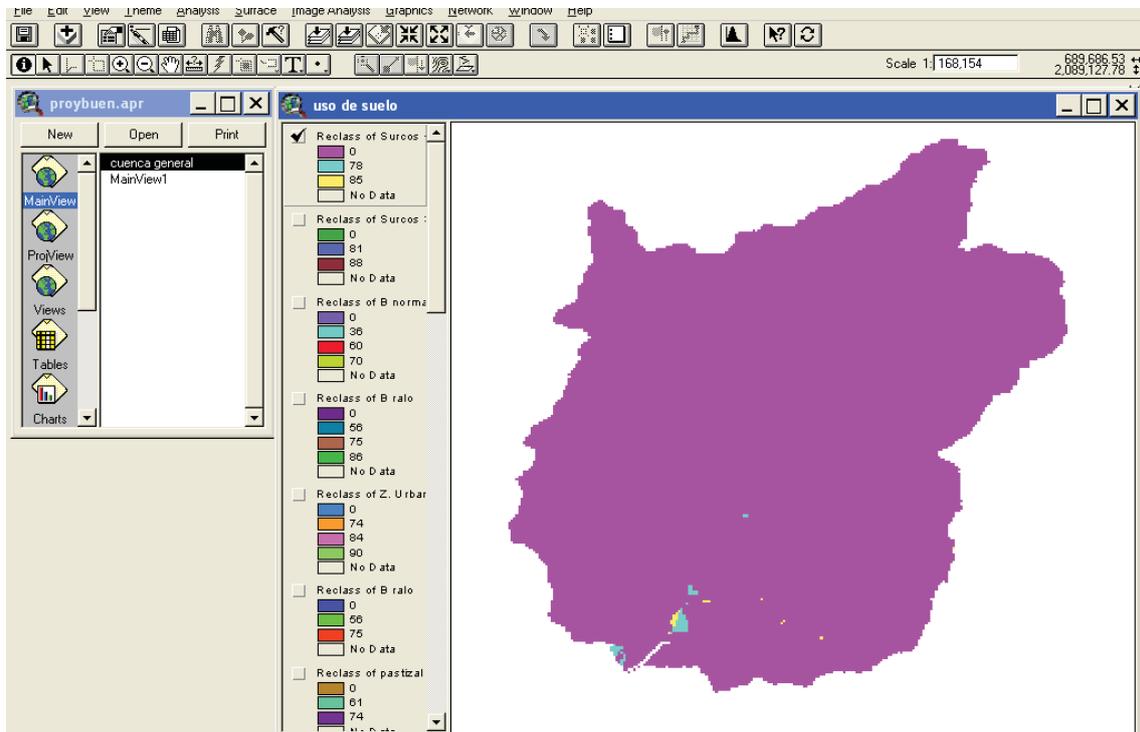


Figura 5.185, Reclasificación del complemento del mapa surcos con pendiente < 1%.

El siguiente mapa es el ultimo tipo de suelo a reclasificar, correspondiente a “terrazas – pendiente > 1%”, figura 5.186.

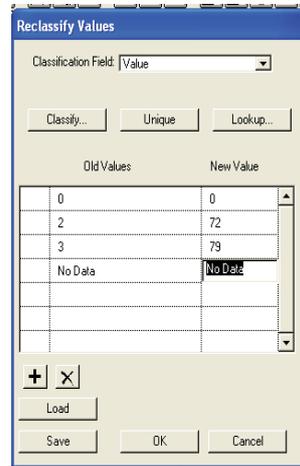


Figura 5.186, Ventana para reclasificar el mapa de terrazas con pendientes > 1%.

Se muestra el resultado de la operación anterior con los nuevos valores, figura 5.187.

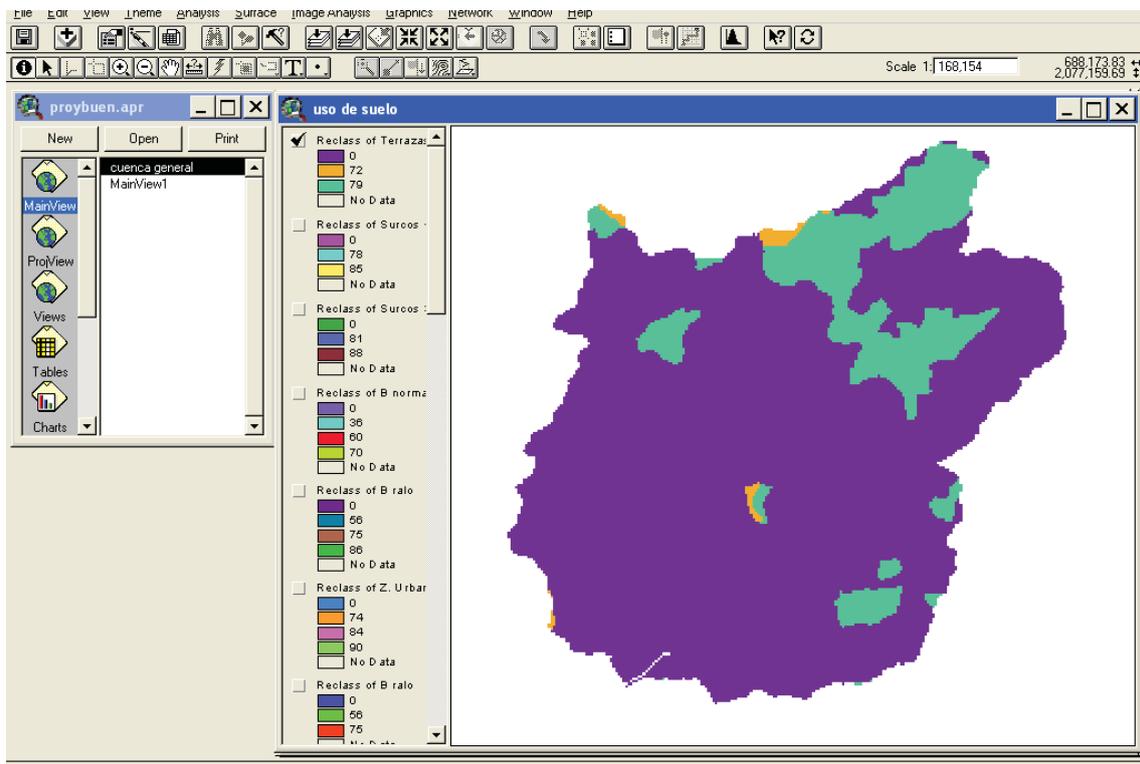


Figura 5.187, Resultado de la reclasificación del mapa de terrazas con pendiente > 1%.

Este es el ultimo mapa a obtener, es el mapa de “terrazas – pendiente < 1%”, figura 5.188.

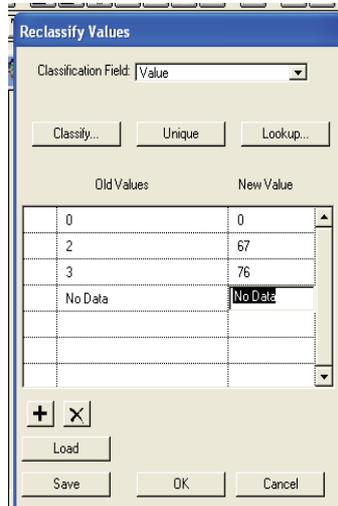


Figura 5.188, Ventana para reclasificar el mapa de terrazas con pendiente < 1%.

Abajo se muestra el último mapa a obtener, con sus valores correspondientes, figura 5.189.

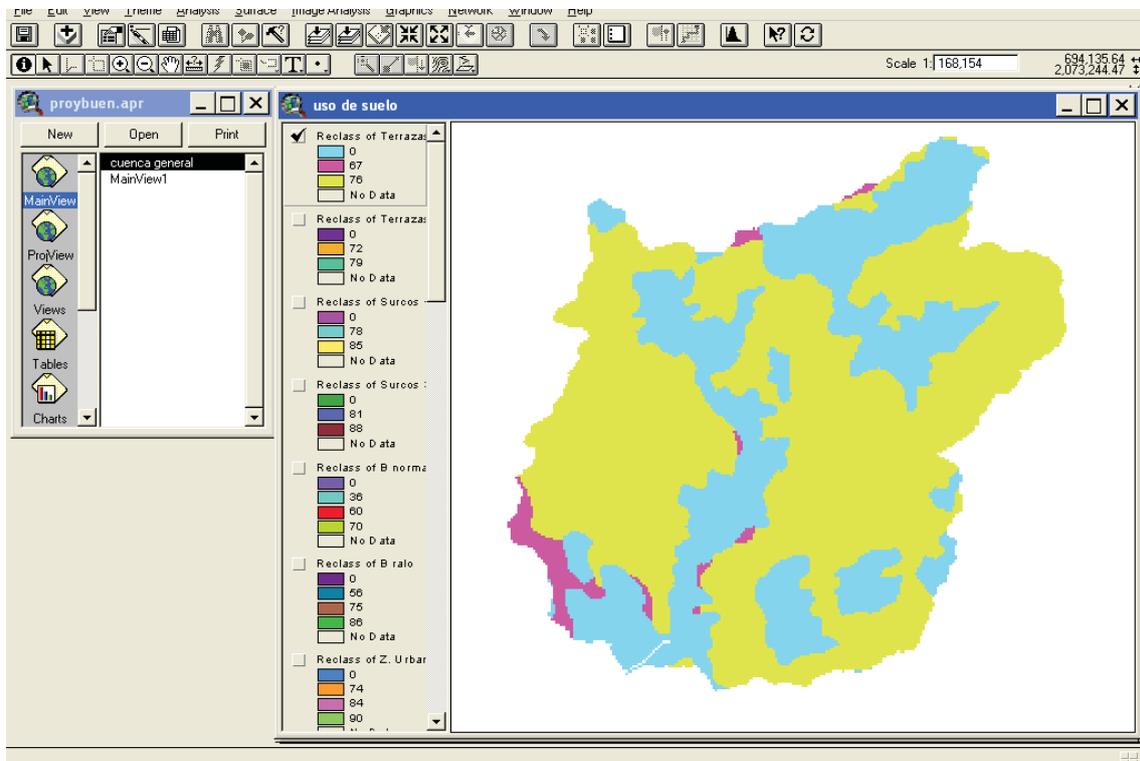


Figura 5.189, Resultado de la reclasificación del mapa de terrazas con pendiente < 1%.

Ya obtenidos todos los mapas reclasificados, se procede a hacer una operación final, esta operación nos dará el mapa final que es el que estamos buscando y nos dará los valores de los Números de Curva o números de escurrimiento de cada zona que es parte del objetivo de esta tesis.

La operación es la siguiente, nos vamos a la ventana “Analysis – Map Calculator”, figura 5.190.

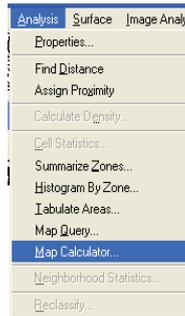


Figura 5.190, Pestaña “Analysis con la opción “Map Calculator”.

Nos aparecerá la ventana de “Map Calculation”, es la misma ventana que utilizamos para multiplicar el Uso de Suelo, Tipo de Suelo y pendientes, en esta ocasión se hará una suma de todas las reclasificaciones obtenidas anteriormente, figura 5.191.

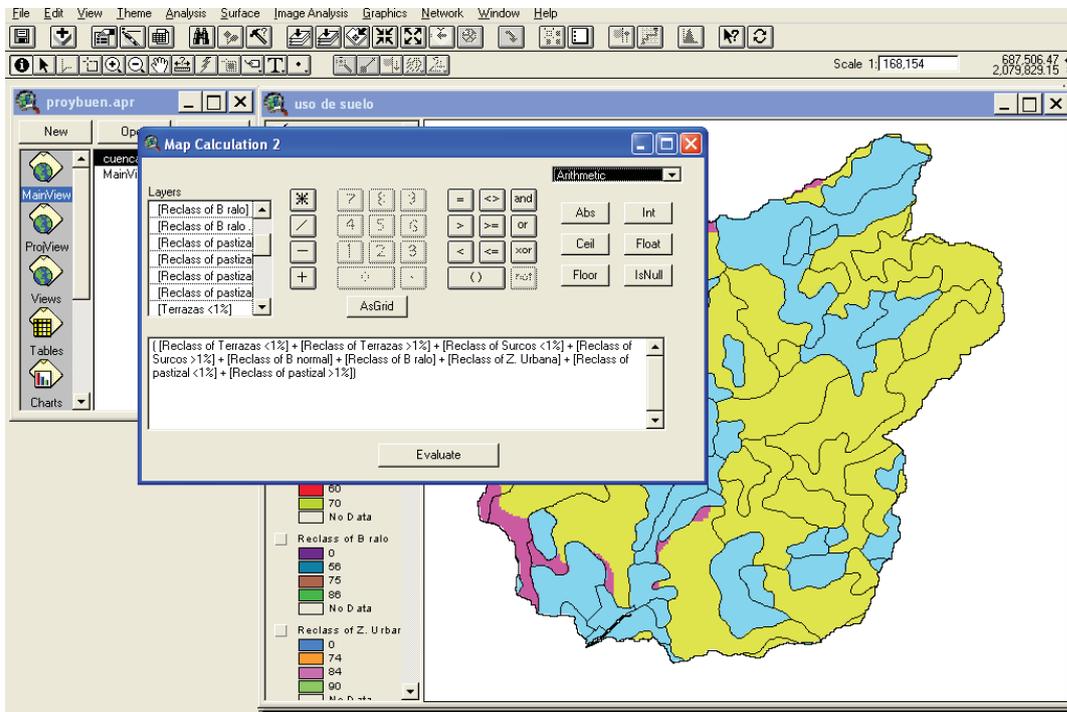


Figura 5.191, Ventana que muestra la operación de la suma de todas las reclasificaciones.

El resultado de la suma de las reclasificaciones es el mapa siguiente, figura 5.192, aquí se muestran los Números de Curva (Nc) que son los que estábamos buscando, cada color corresponde a un Número de Curva.

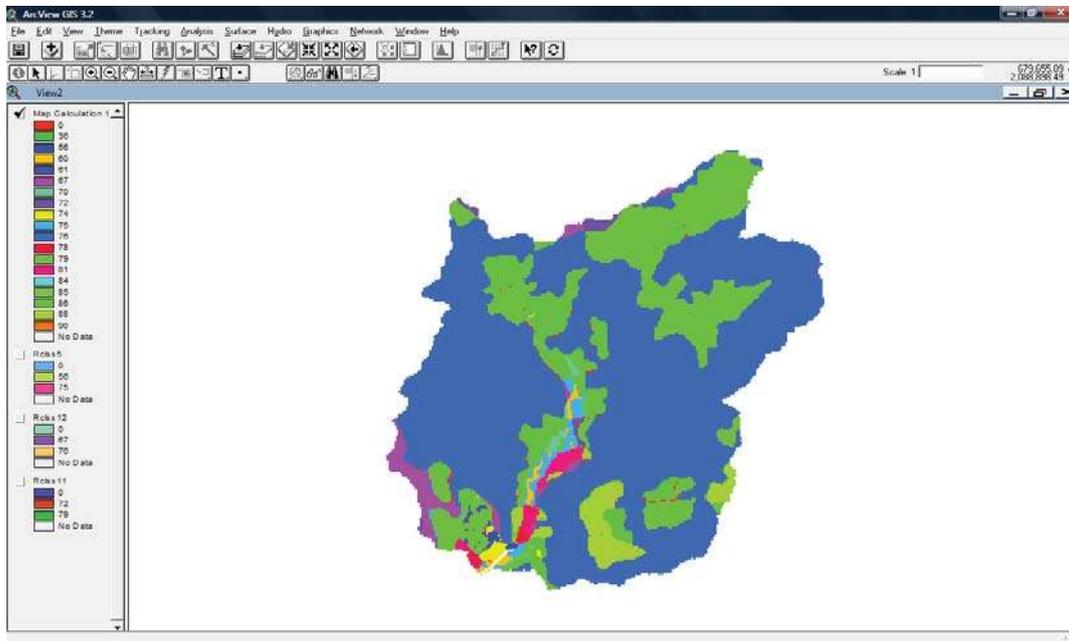


Figura 5.192, Mapa con los Números de Esguerrimiento (Nc) para cada zona.

Para calcular el número de esguerrimiento general es necesario trabajar con “Field Calculator”, esto siempre y cuando nos encontremos en la tabla de atributos. Para la realización de las multiplicaciones y divisiones generaremos una columna con el nombre de multiplicación en la cual multiplicaremos el área por el Numero de Esguerrimiento, recordemos que la generación de columnas ya se había realizado anteriormente, para encontrar la ventana de “Field Calculator” nos debemos de ir al menú “Field” y en este seleccionaremos “Calculate”, en seguida en la parte izquierda de la ventana seleccionaremos con doble clic una de las dos columnas a multiplicar, y en la parte derecha seleccionaremos el cálculo a realizar, en nuestro caso se refiere a una multiplicación, nuestra ecuación así como la ventana en la cual realizamos cálculos se puede observar en la figura 5.193.

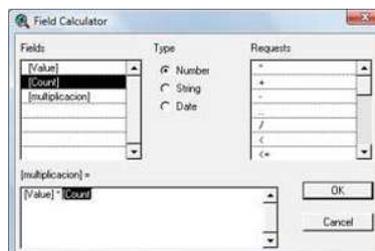


Figura 5.193, En esta ventana podemos observar cómo queda la ecuación a utilizar y así mismo la ventana en la cual realizamos dicha ecuación.

El resultado de esta multiplicación la podemos observar en la figura 5.194.

Value	Count	multiplicacion
0	113	0
36	139	5004
56	56	3136
60	155	9300
61	50	3050
67	728	48776
70	127	8890
72	186	13392
74	115	8510
75	354	26550
76	20978	1594328
78	74	5772
79	5256	415224
81	298	24138
84	2	168
85	19	1615
86	2645	227470
88	1015	89320
90	1	90

Figura 5.194, Se observa el resultado de la multiplicación, de las dos columnas.

En seguida debemos realizar una sumatoria (procedimiento anteriormente realizado), la sumatoria será de la columna de “multiplicación” y otra de la columna de “Count”, al realizar lo anterior, debemos dividir la suma de la columna de “multiplicación” entre la columna de “Count”, nuestro resultado final será el mostrado en la figura 5.195.

Count	sum_Sum_multiplicac	numero de escurrimiento
1	2484733.0000	77

Figura 5.195, nos muestra el número de escurrimiento total, en nuestro caso es de 77, recordemos parar la edición y guardar los cambios de las tablas.

V.2.3 MAPAS DE PRECIPITACION MEDIA ANUAL

A) METODO POLIGONOS DE THIESSEN.

Para la generación de los polígonos, es necesario llamar los temas de la figura 5.89, el tema de puntos en formato “Shape” debe ser seleccionado, enseguida nos vamos al menú “Analysis”, en este menú debemos seleccionar la opción “Assign Proximity”, ver figura 5.196.

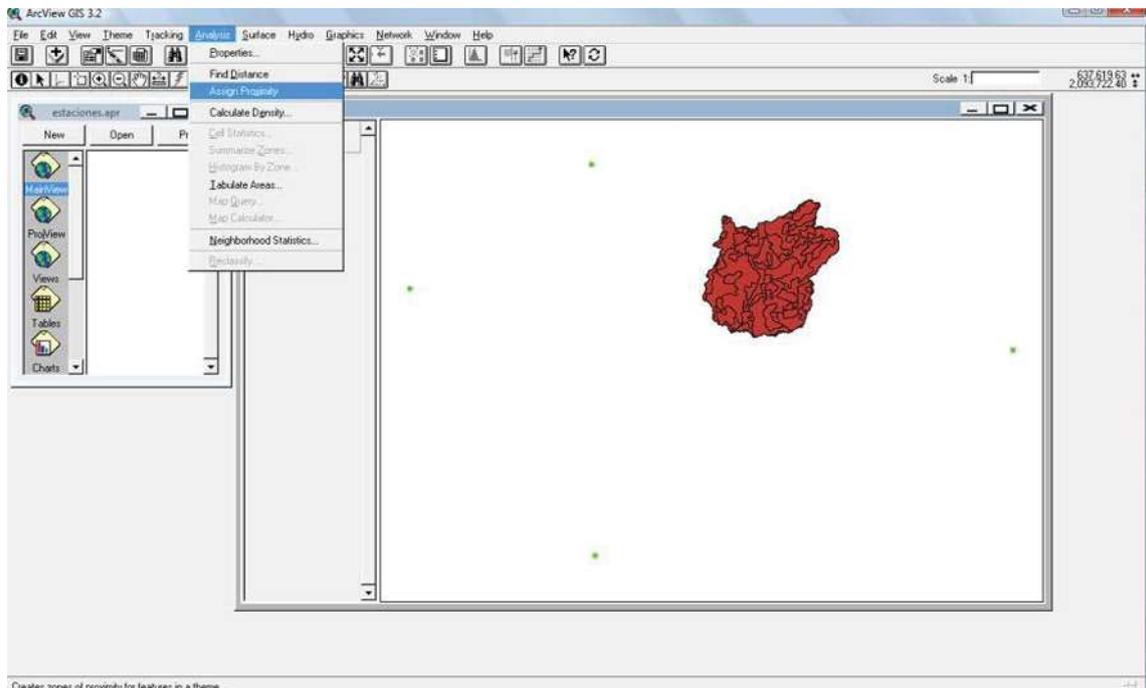


Figura 5.196, Pestaña "Analysis" mostrando la opción "Assign Proximity".

Al momento de dar clic izquierdo, nos aparecerá la ventana de la figura 5.197.

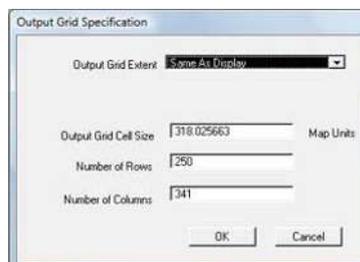


Figura 5.197, Muestra la forma en que los polígonos se formaran, esta se puede cambiar en el desplegable, para nuestro caso se dejó la opción que se nos da por default.

Al momento de aceptar esta opción nos aparecerá otra ventana, la cual nos mostrara los diferentes campos o columnas de la tabla de atributos, la opción que debemos seleccionar es la columna en la cual tenemos la altura media de precipitación de las estaciones, figura 5.198.

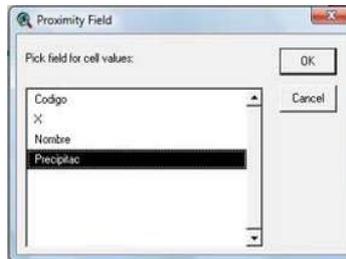


Figura 5.198, Muestra la opción seleccionada que contiene la precipitación media.

Nuestro resultado será los polígonos de “Thiessen”, estos se pueden observar en la figura 5.199.

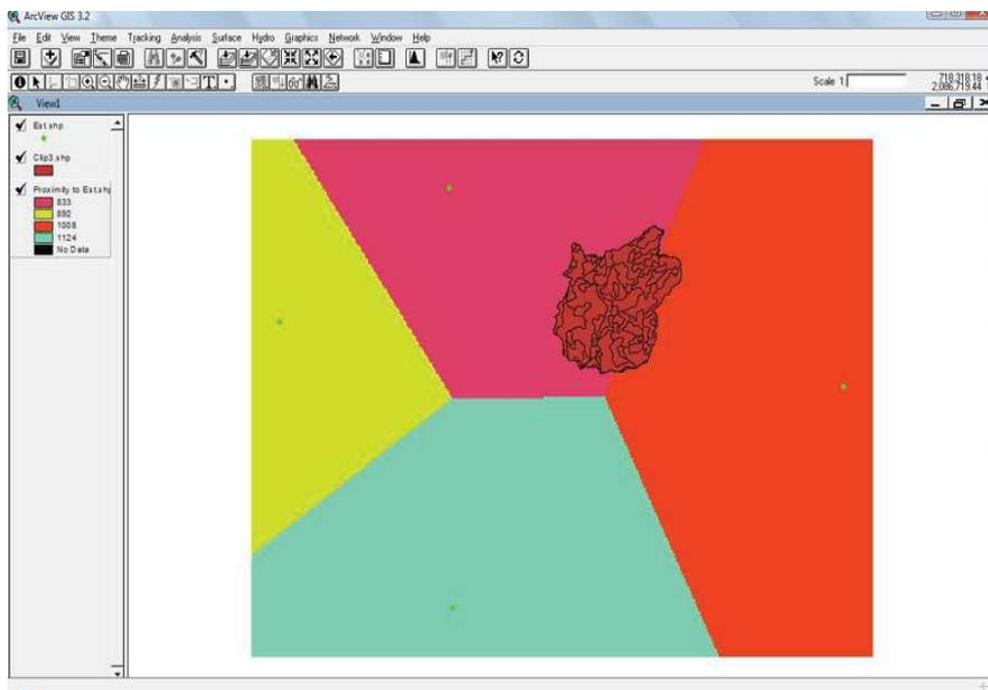


Figura 5.199, Muestra los polígonos de” Thiessen”, el cual era uno de nuestros objetivos.

El tema generado anteriormente lo convertimos a formato “Shape”, procedimiento anteriormente mencionado, el resultado se puede observar en la figura 5.200.

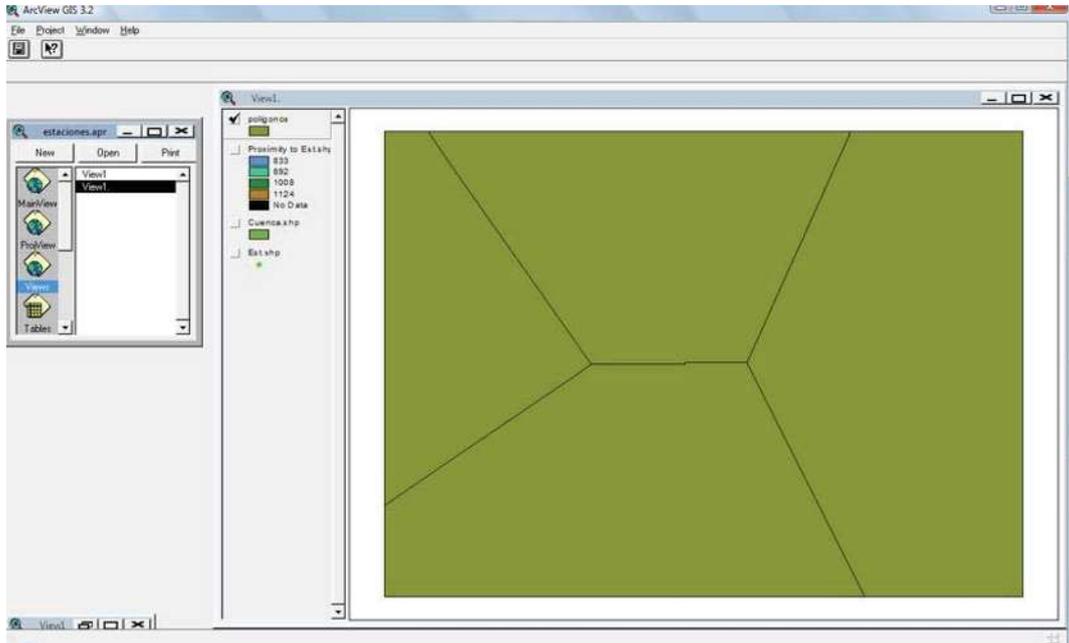


Figura 5.200, Muestra los polígonos de “Thiessen” en formato Shape.

Nuestro siguiente paso a realizar es la creación del corte de los polígonos en base a la cuenca general, la realización de esta parte también ya se menciono, nuestro resultado se observa en la figura 5.201.

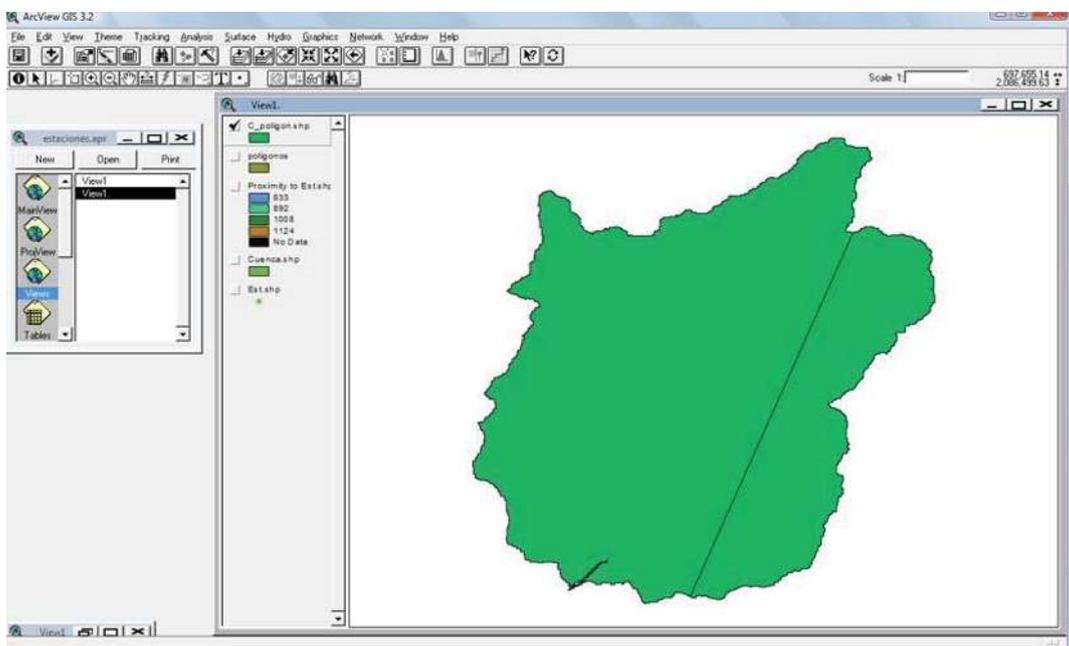
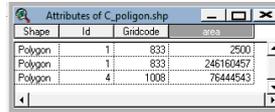


Figura 5.201, Corte de los polígonos de “Thiessen”, en esta figura se puede observar claramente cómo afectan dos estaciones a la cuenca general en estudio.

En seguida determinamos el área para estas dos porciones, el procedimiento ya fue comentado anteriormente, figura 5.202.



Shape	id	Gridcode
Polygon	1	833
Polygon	1	833
Polygon	4	1008

Figura 5.202, Área correspondiente a las dos estaciones, en este caso se observan tres filas, pero dos de estas tienen la misma precipitación, por lo cual ambas pertenecen a la misma estación.

Para la obtención de la altura de la precipitación media es necesario la aplicación de la siguiente fórmula.

$$\bar{h}_p = \frac{1}{A_t} \sum_{i=1}^n A_i * h_{pi}$$

Donde \bar{h}_p es la altura de la precipitación media (valor buscado)

A_i es el área de influencia de la estación i .

h_{pi} corresponde a la altura de precipitación registrada en la estación.

A_t es correspondiente al área total.

Por lo cual aplicando esta fórmula determinamos la altura de la precipitación media en mm.

$$\bar{h}_p = \frac{1}{253807500} * (2500 * 833) + (246160457 * 833) + (7644543 * 1008) = 838.27 \text{ mm.}$$

En seguida determinaremos la lluvia media para cada cuenca de la figura 5.71, el procedimiento es el mismo anteriormente realizado. Pero si se desea realizar en diferentes "View" cada corte de los "Polígonos de Thiessen" debemos de llamar los dos "Shapes" de interés, es decir el "Shape" que contiene a los "Polígonos de Thiessen" y el "Shape" que contiene la cuenca en estudio, figura 5.203.

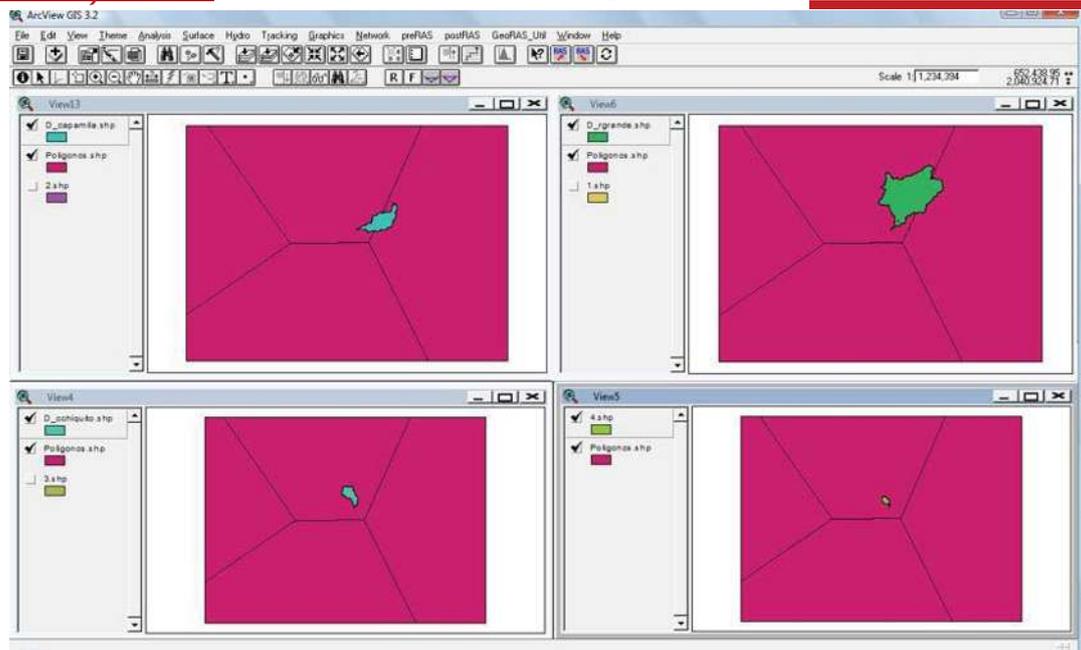


Figura 5.203, nos muestra la posición de cada cuenca con respecto a los polígonos de Thiessen en una diferente View.

Nuestro siguiente paso es la realización del corte de los polígonos de Thiessen con respecto a su respectiva cuenca, el resultado lo podemos observar en la figura 5.204.

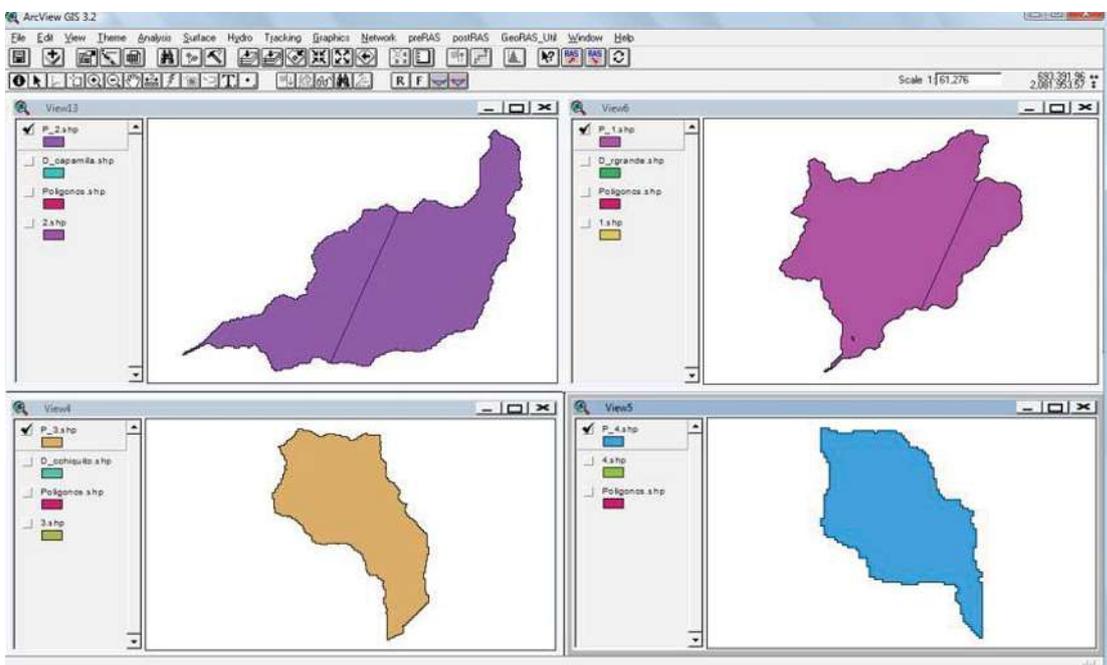


Figura 5.204, muestra los cortes de los “Polígonos de Thiessen” con respecto a cada cuenca, se puede observar cómo es que dos de las cuencas en estudio son afectadas por dos estaciones, mientras las otras 2 cuencas solo son afectadas por una sola cuenca.

Nuestro siguiente paso a realizar es determinar el área de influencia de cada estación para las cuencas en las que influyen dos estaciones y enseguida aplicamos la formula dándonos los siguientes resultados.

Cuenca Rio Grande.

$$\bar{h}_p = \frac{1}{237392500} * (194424455 * 833) + (42968045 * 1008) = 864.675 \text{ mm.}$$

Cuenca Rio Apamila.

$$\bar{h}_p = \frac{1}{52317500} * (18841002 * 833) + (33476498 * 1008) = 944.9776 \text{ mm.}$$

Como en este caso solo una estación afecta a esta cuenca solo se trabaja con la precipitación que afecta, por lo cual el resultado de la ecuación será el mismo que la precipitación de la estación que afecta a la cuenca, nuestro resultado es de 833mm.

Cuenca Arroyo las Ánimas.

Al igual que en nuestra anterior cuenca nuestro resultado de la altura de precipitación media es de 833 mm.

B) METODO ISOYETAS.

Para la generación de las isoyetas es necesario al igual que los polígonos de “Thiessen” el “Shape” de las estaciones, el cual se había generado anteriormente.

Nuestro primer paso es en una nueva “View” o en la “View” donde se trabajó con los polígonos de “Thiessen” seleccionar el tema de las estaciones, en seguida nos vamos al menú “Surface” en este buscaremos la opción “Create Contours”, ver figura 5.205.

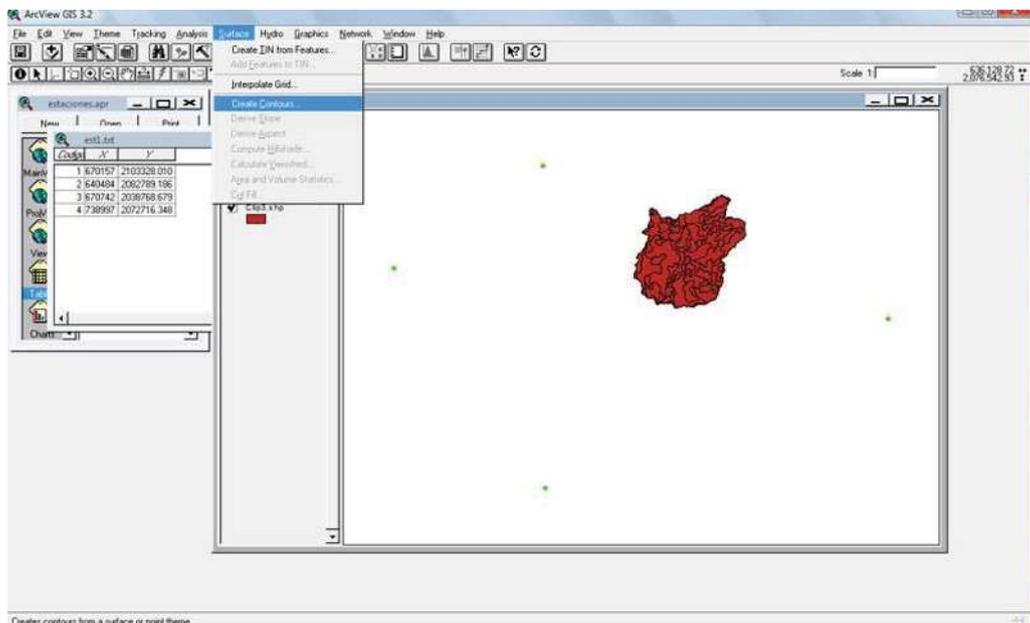


Figura 5.205, Pestaña “Surface” mostrando la opción “Create Contours”.

Enseguida de haber realizado el procedimiento anterior nos aparecerá una ventana en la cual nos mostrara las características de los pixeles del mapa de salida, figura 5.206.

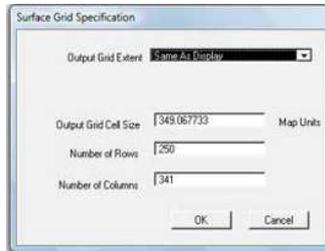


Figura 5.206, Ventana en la cual podemos observar las características de los pixeles de salida.

La forma de aceptar todos los valores mostrados por default es dando clic en “OK”, en seguida nos aparecerá otra ventana en la cual en el segundo desplegable seleccionaremos la columna donde se encuentran las precipitaciones medias, en la opción “N: of Neighbors” en esta colocaremos la distancia de precipitación deseada entre el punto y la primer línea en nuestro caso fue de 20, figura 5.207.

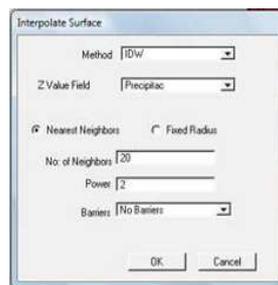


Figura 5.207, Muestra los valores utilizados para nuestro caso.

Al aceptar la opción nos aparecerá otra ventana en la cual nos pide la distancia entre curva y curva, en este caso se utilizo de 10, ver figura 5.208.



Figura 5.208, Se observar el valor del intervalo entre cada curva.

Una vez aceptando nuestro resultado será el mostrado en la figura 5.209.

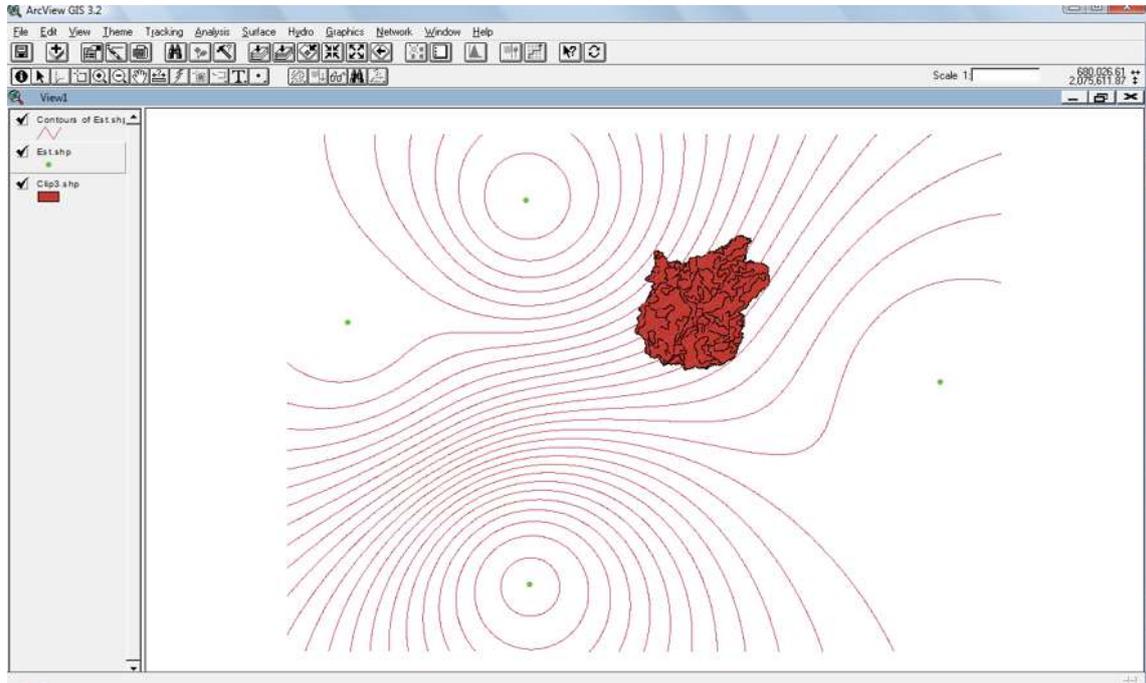


Figura 5.209, Observamos las “isoyetas” creadas por medio de “ArcView 3.2”.

Una vez generadas las “isoyetas” de la figura 5.209, nuestro siguiente paso a realizar es la obtención de las áreas entre cada elevación las cuales afecten a la cuenca, primeramente el tema de las “isoyetas” debemos de seleccionarlo, en seguida en el menú “Analysis” seleccionaremos la opción “Assign Proximity”, figura 5.210, enseguida nos aparecerá una ventana en la cual existe un desplegable, en este seleccionaremos la opción “Same As Contours of Est.shp”, de la opción anterior “Contours of Est.shp” se refiere al nombre del tema, este hubiera podido ser “isoyetas”, en seguida daremos “OK” para aceptar, figura 5.211, lo anterior nos generara una ventana, ver figura 5.212.

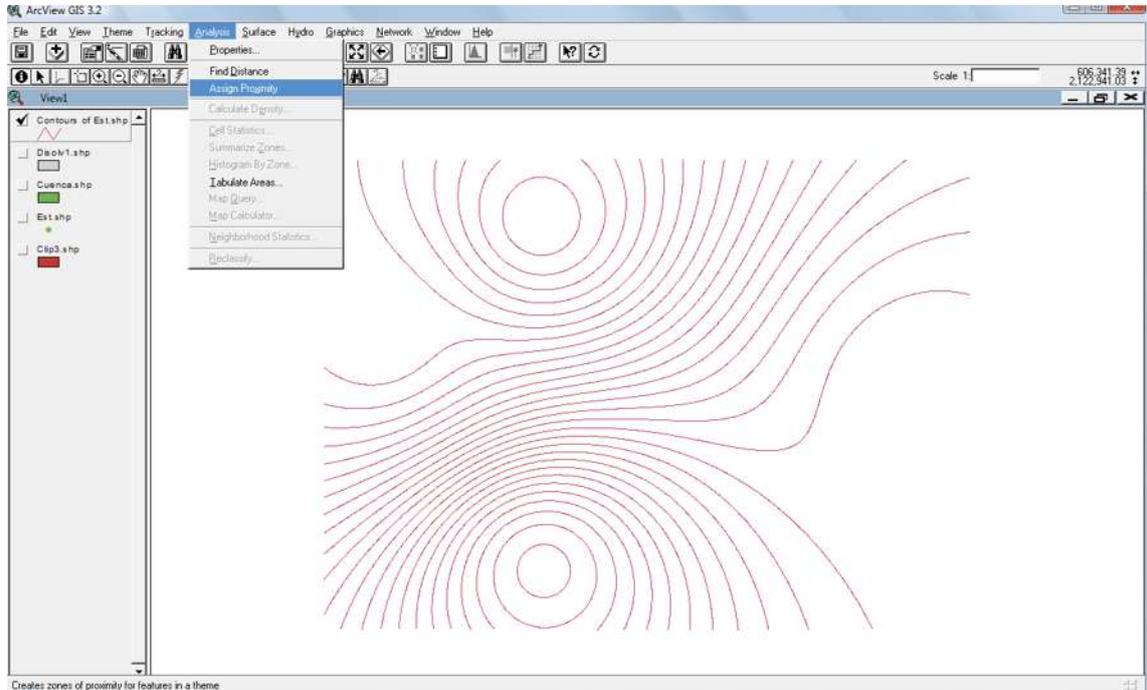


Figura 5.210, Pestaña “Analysis” mostrando la opción “Assign Proximity”.

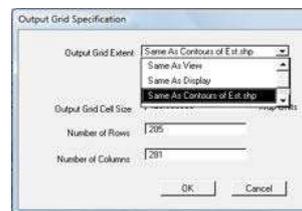


Figura 5.211, Muestra la ventana en la cual delimitaremos la extensión deseada a generar.

En esta ventana podemos cambiar el tamaño de “Output Grid Cell Size”, esto para cambiar el tamaño que tomaran los pixeles, en nuestro caso se coloco de 200.

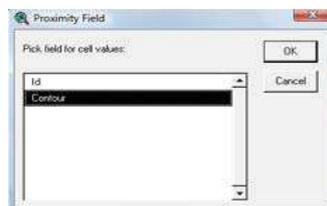


Figura 5.212, En esta ventana seleccionaremos la opción a evaluar, en nuestro caso seleccionaremos “Contour” la cual es la columna contenedora de las precipitaciones de cada curva de “isoyeta”.

Una vez seleccionada esta opción y aceptada en “OK”, nuestro resultado será el mostrado en la figura 5.213.

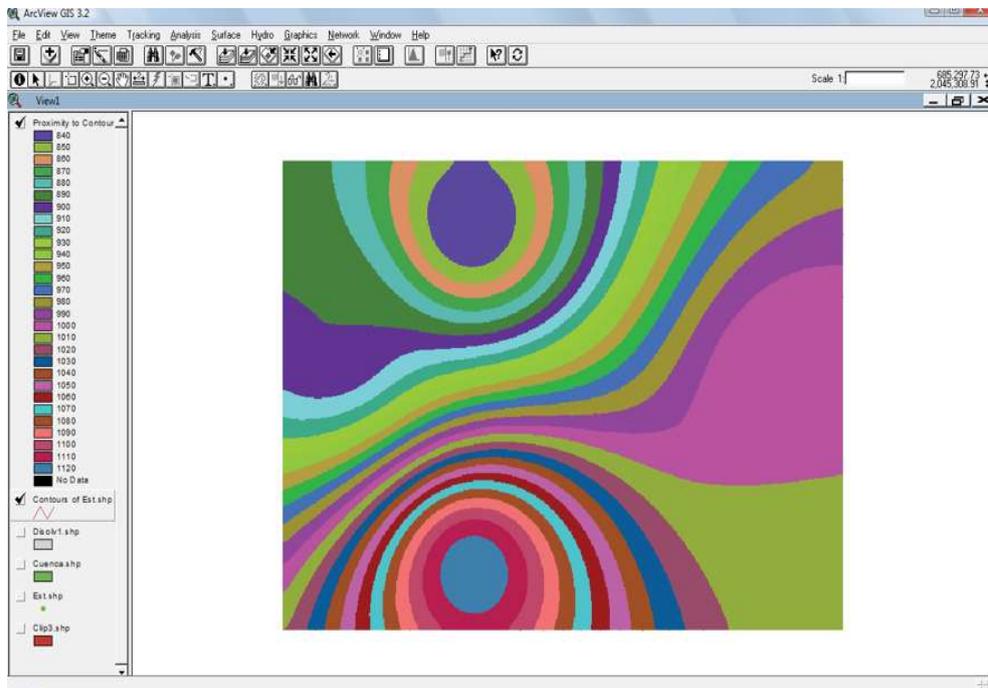


Figura 5.213, Muestra la creación de un polígono el cual contiene las propiedades de las líneas de las “isoyetas”.

Con el anterior polígono generado debemos de crear un “Shape”, figura 5.214, nuestro siguiente paso a realizar es la creación de un recorte de la figura 5.214 en base a la cuenca general, el procedimiento de recorte ya se ha mencionado anteriormente, nuestro resultado es posible observarlo en la figura 5.215.

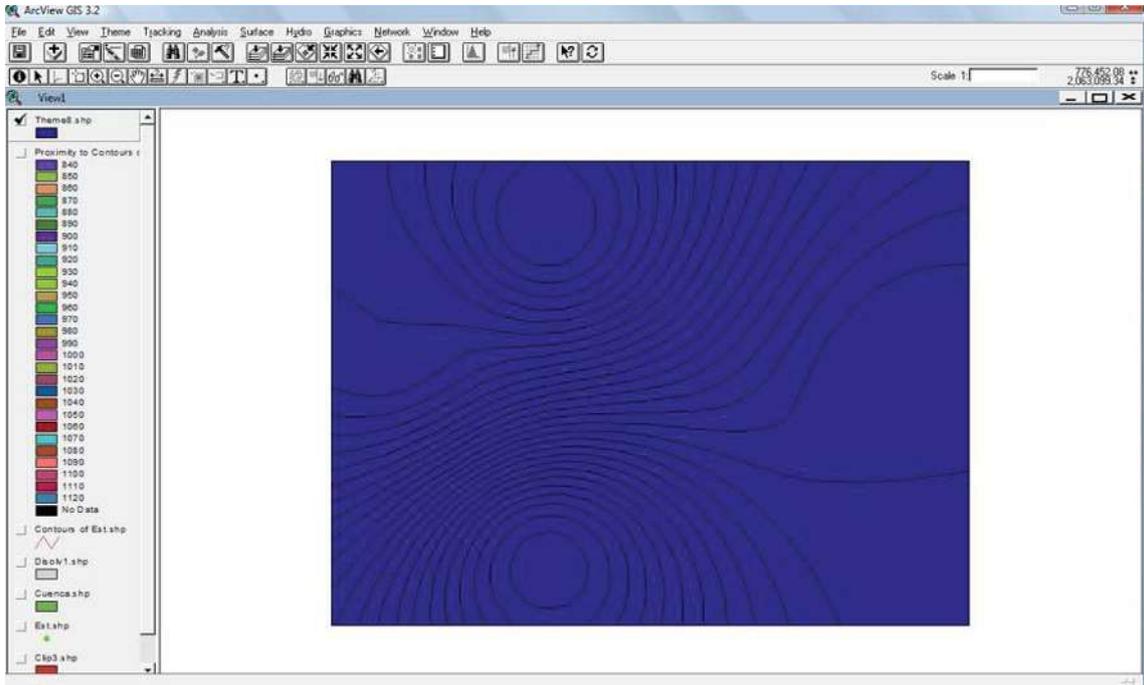


Figura 5.214, "Shape" creado en base al tema de la figura 5.199.

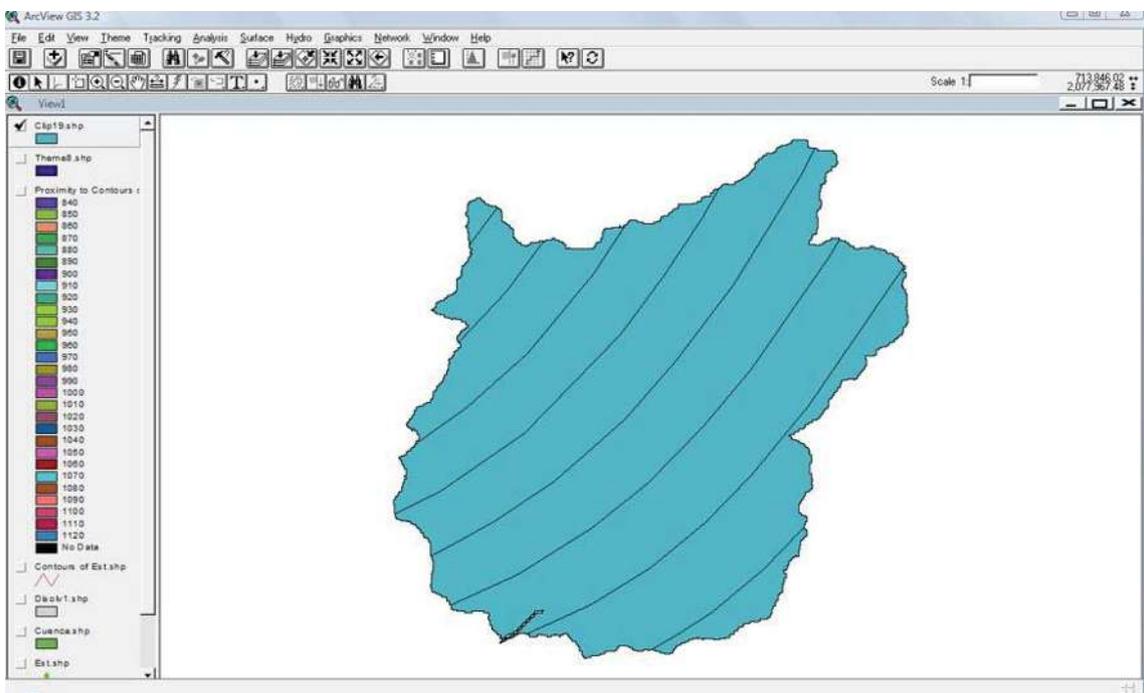


Figura 5.215, Corte generado del tema de la figura 5.200 con respecto a la cuenca general.

En seguida abriremos la tabla de atributos para en esta sacar el área correspondiente a cada precipitación, recordemos colocar unidades, la forma de obtener el área ya se

había mencionado con anterioridad, nuestro resultado será el mostrado en la figura 5.216.

Shape	A	Gráfica	Área
Polygon	6	890	1400936
Polygon	7	900	10195637
Polygon	8	910	23420180
Polygon	8	910	422
Polygon	8	910	30
Polygon	9	920	41357364
Polygon	9	920	46
Polygon	10	930	59096052
Polygon	11	940	64585203
Polygon	12	950	2500
Polygon	12	950	68052908
Polygon	13	960	46522404
Polygon	14	970	7973734
Polygon	14	970	84

Figura 5.216, Aquí observamos la creación de la nueva columna “área”, la cual generamos para el cálculo de dicha área, de esta manera tenemos la precipitación y el área correspondiente de la cuenca general para cada una de estas áreas.

Para poder determinar la altura de precipitación media se utiliza la siguiente ecuación.

$$\bar{h}_p = \frac{1}{At} * \sum_{i=1}^{n'} (h_{pi} * A' i)$$

Aplicando la anterior ecuación, nuestro resultado es:

$$(h_p)^{\sim} = 1/322607500 * (1400936 * 890 + 10195637 * 900 + 23420180 * 910 + 422 * 910 + 30 * 910 + 41357364 * 920 + 46 * 920 + 59096052 * 930 + 64585203 * 940 + 2500 * 950 + 68052908 * 950 + 46522404 * 960 + 7973734 * 970 + 84 * 970)$$

Ahora realizaremos los cálculos para cada cuenca de la figura 5.71, lo primero a realizar es llamar los “Shape” en una nueva View o la podemos trabajar como en nuestro caso en la View donde trabajamos los recortes de los “Polígonos de Thiessen”, al momento de llamar y colocar las cuencas sobre el “Shape” de las “Isoyetas” el resultado es el mostrado en la figura 5.217.

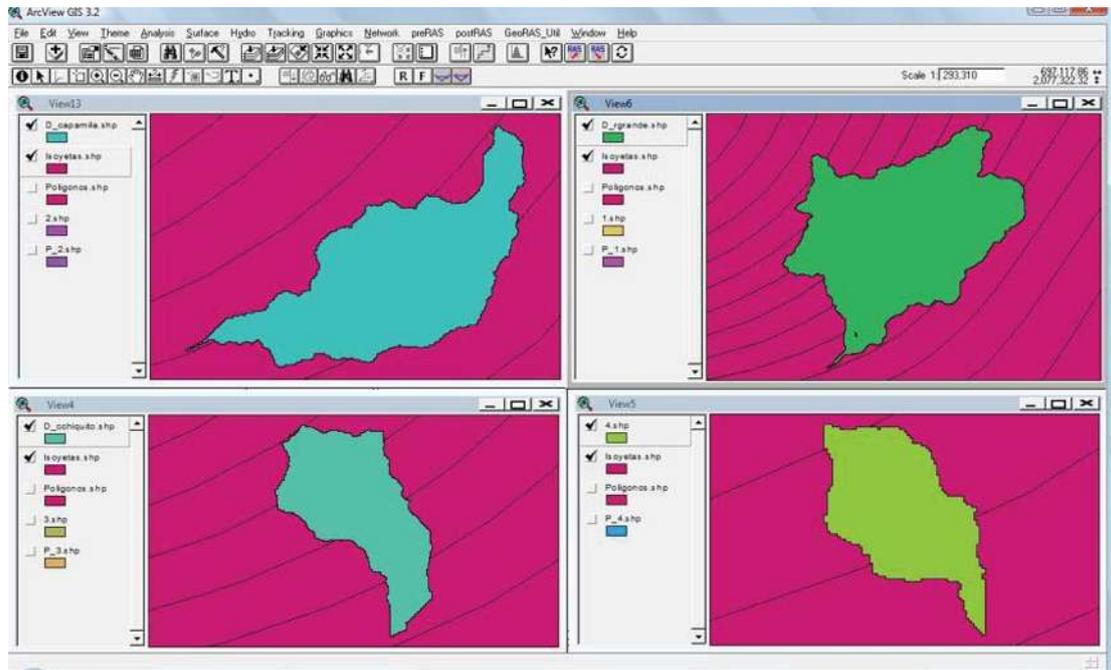


Figura 5.217, Muestra la capa de las cuencas sobre la capa de las isoyetas.

Nuestro siguiente paso es la obtención de los cortes de las “Isoyetas” con respecto a las cuencas en estudio, nuestro resultado es el observado en la figura 5.218.

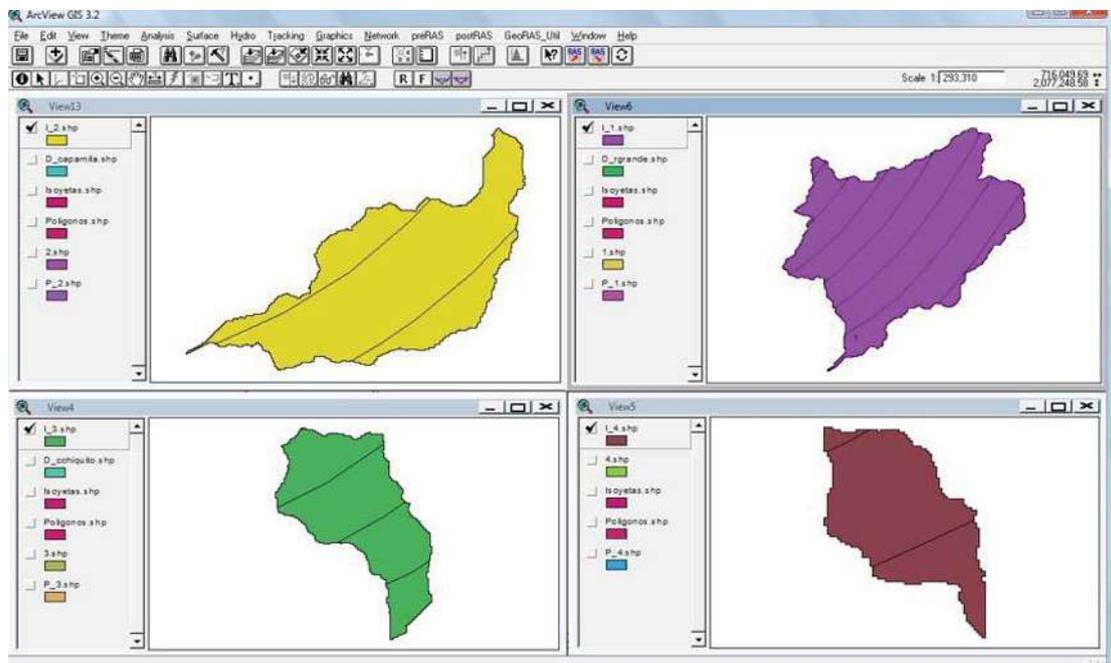
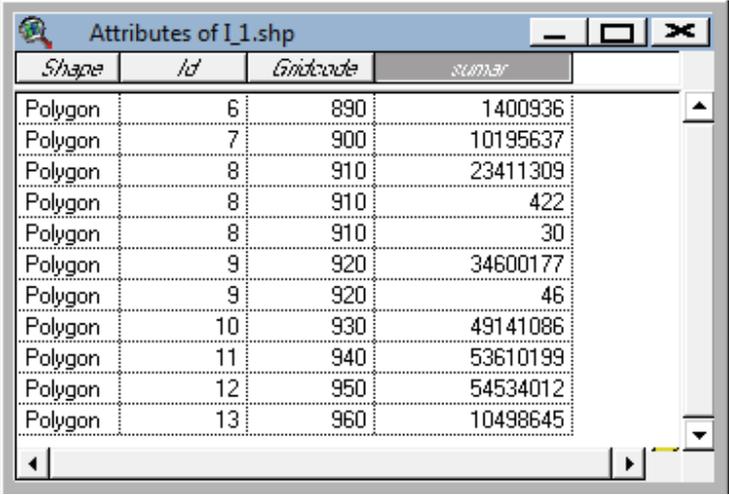


Figura 5.218, Esta figura nos muestra los diferentes cortes de las “Isoyetas” con respecto a las cuencas en estudio.

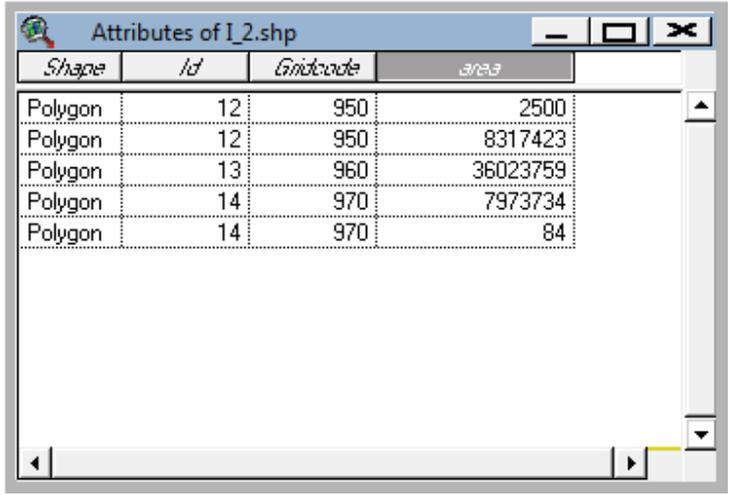
En seguida determinamos el área entre cada línea de “Isoyetas” para cada cuenca, el procedimiento es el realizado anteriormente, enseguida determinaremos la altura de precipitación media con la fórmula anteriormente mencionada.

A continuación se muestran las tablas de información de cada cuenca así como la columna de área integrada. Para la Cuenca Río Grande figura 5.219, Cuenca Río Apamila 5.220, Cuenca Río Chiquito figura 5.221 Y Cuenca Arroyo las Ánimas figura 5.222.



Shape	Id	Gridcode	sumar
Polygon	6	890	1400936
Polygon	7	900	10195637
Polygon	8	910	23411309
Polygon	8	910	422
Polygon	8	910	30
Polygon	9	920	34600177
Polygon	9	920	46
Polygon	10	930	49141086
Polygon	11	940	53610199
Polygon	12	950	54534012
Polygon	13	960	10498645

Figura 5.219, Tabla de información de la Cuenca Río Grande.



Shape	Id	Gridcode	area
Polygon	12	950	2500
Polygon	12	950	8317423
Polygon	13	960	36023759
Polygon	14	970	7973734
Polygon	14	970	84

Figura 5.220, Tabla de información de la Cuenca Río Apamila.

Shape	Id	Gridcode	area
Polygon	8	910	8870
Polygon	9	920	6757187
Polygon	10	930	9769773
Polygon	11	940	6409173
Polygon	12	950	3299997

Figura 5.221, tabla de información de la Cuenca Rio Chiquito.

Shape	Id	Gridcode	area
Polygon	10	930	185193
Polygon	11	940	4565831
Polygon	12	950	1858975

Figura 5.222, Tabla de información de la Cuenca Arroyo las Animas.

Aplicando la ecuación para la determinación de la precipitación media para cada cuenca es la siguiente.

Aplicando la ecuación para la determinación de la precipitación media para cada cuenca es la siguiente.

Cuenca Rio Grande.

$$\bar{h}_p = \frac{1}{189311499} * (1400936 * 890 + 10195637 * 900 + 23411309 * 910 + 422 * 910 + 30 * 910 + 34600177 * 920 + 46 * 920 + 49141086 * 930 + 53610199 * 940 + 54534012 * 950 + 10498645 * 950 = 1175.9mm)$$

Cuenca Rio Apamila.

$$\bar{h}_p = \frac{1}{52317500} * (2500 * 950 + 8317423 * 950 + 36023759 * 960 + 7973734 * 970 + 84 * 970 = 959.934mm)$$

Cuenca Río Chiquito.

$$\bar{h}_p = \frac{1}{26245000} * (38370 * 910 + 6757187 * 920 + 9769773 * 930 + 6409173 * 940 + 3299997 * 950 = 932.375mm)$$

Cuenca Arroyo las Ánimas.

$$\bar{h}_p = \frac{1}{6609999} * (185193 * 930 + 4565831 * 940 + 1858975 * 950 = 942.53mm)$$

De esta manera tenemos la precipitación y el área correspondiente de la cuenca general para cada una de estas áreas.

V.3 MODELO LLUVIA – ESCURRIMIENTO.

En esta fase utilizaremos un nuevo programa para la obtención del hidrograma, este programa es el “HEC-HMS 3.1.0”.

El “HMS” es un programa complejo que calcula el hidrograma producido por una cuenca si le facilitamos datos físicos de la cuenca, datos de precipitaciones, etc.

Las diversas fases de trabajo del programa pueden esquematizarse, ver figura 5.223.

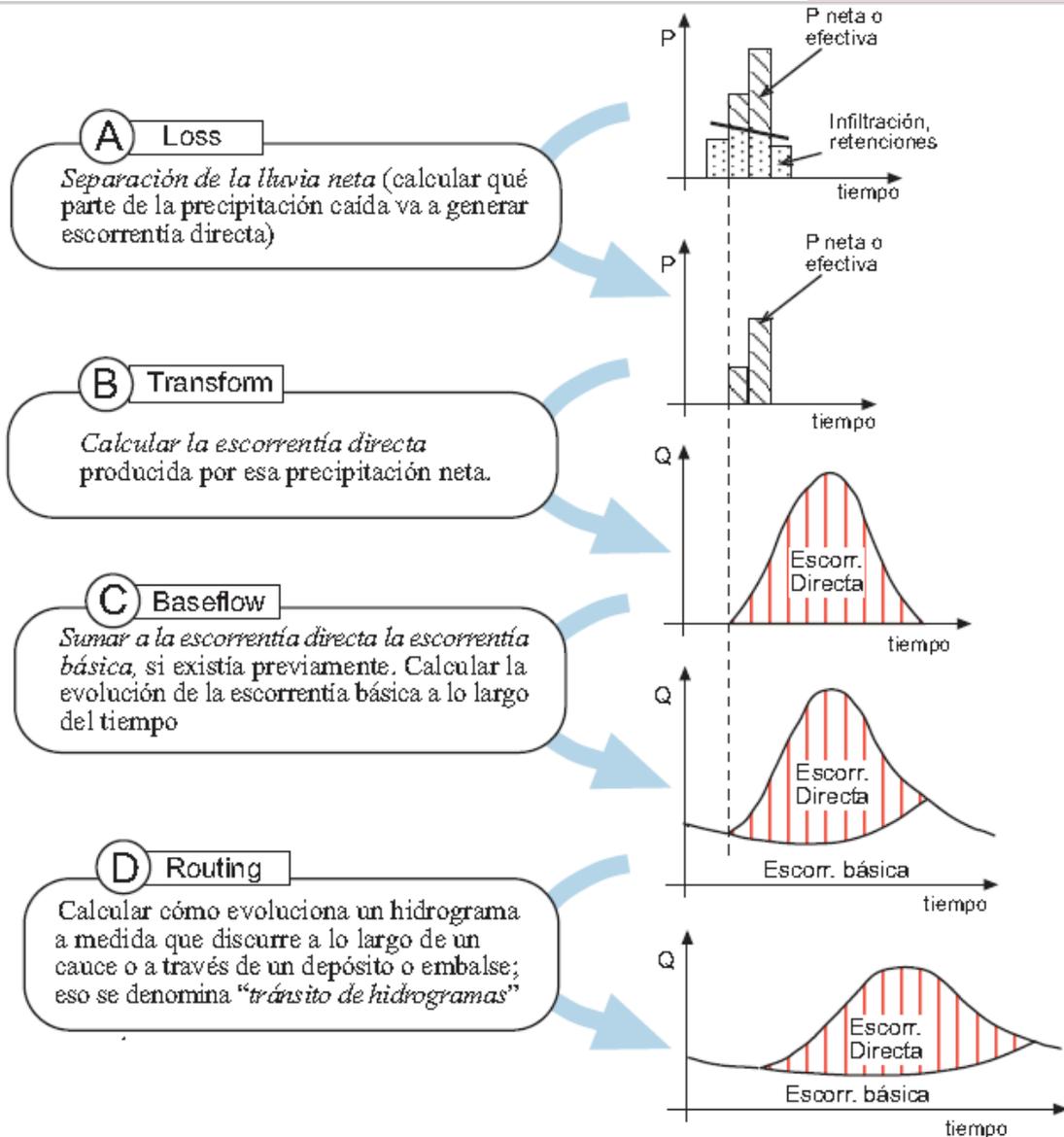


Figura 5.223, Podemos observar en inglés el nombre asignado por el programa a cada fase.

Este programa nos permite el establecer varias subcuencas, realiza los cálculos de las tres primeras fases (A; B; C) para cada subcuenca, y calcula la última fase (D) para cada tránsito a lo largo de un cauce (la evolución del hidrograma que, generado en una subcuenca, circula por otra distancia). Al final suma todos los caudales generados y transitados a lo largo del recorrido y nos proporciona (en tabla y en gráfico) el hidrograma en la salida de la cuenca.

Es importante tener establecido los diversos datos con los que contamos, como por ejemplo, tenemos cuencas por separado, es decir, ninguna se encuentra en seguida del cauce de la otra, sino que cada una tiene su propia corriente, figura 5.224.

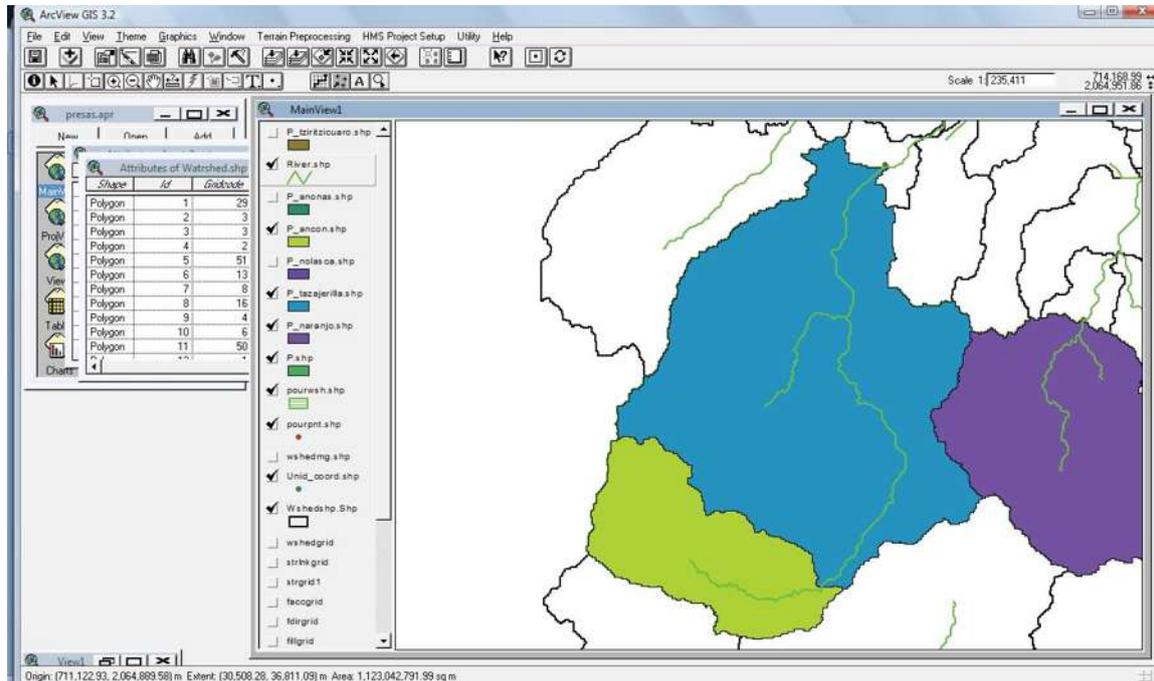


Figura 5.224, En esta figura podemos observar cómo es que dos cuencas comparten el mismo cause, por lo cual en este caso se debe de tomar en cuenta el cálculo de la primera cuenca el cual afectara el cálculo de la segunda cuenca modificando el hidrograma.

Por lo anterior en el programa “HEC-HMS 3.1.0” deberemos considerar a las cuencas como cuencas separadas, además consideraremos que no tenemos un flujo base, es decir el cauce se encuentra seco hasta que no ocurre una precipitación, y se dispone de datos calculados de 24 horas de las precipitaciones para diversos periodos de retorno.

El procedimiento que a continuación se utilizara, será el mismo para cada cuenca, el objetivo es encontrar el “Hidrograma Unitario Triangular” de tal forma que nos evitaríamos el procedimiento tan laborioso para dibujar en “AutoCad” dicho hidrograma.

Primeramente, una vez estando en el programa “HEC-HMS 3.1.0” debemos de generar un archivo, esto se realiza en el menú “File” en la opción “New”, figura 5.224.

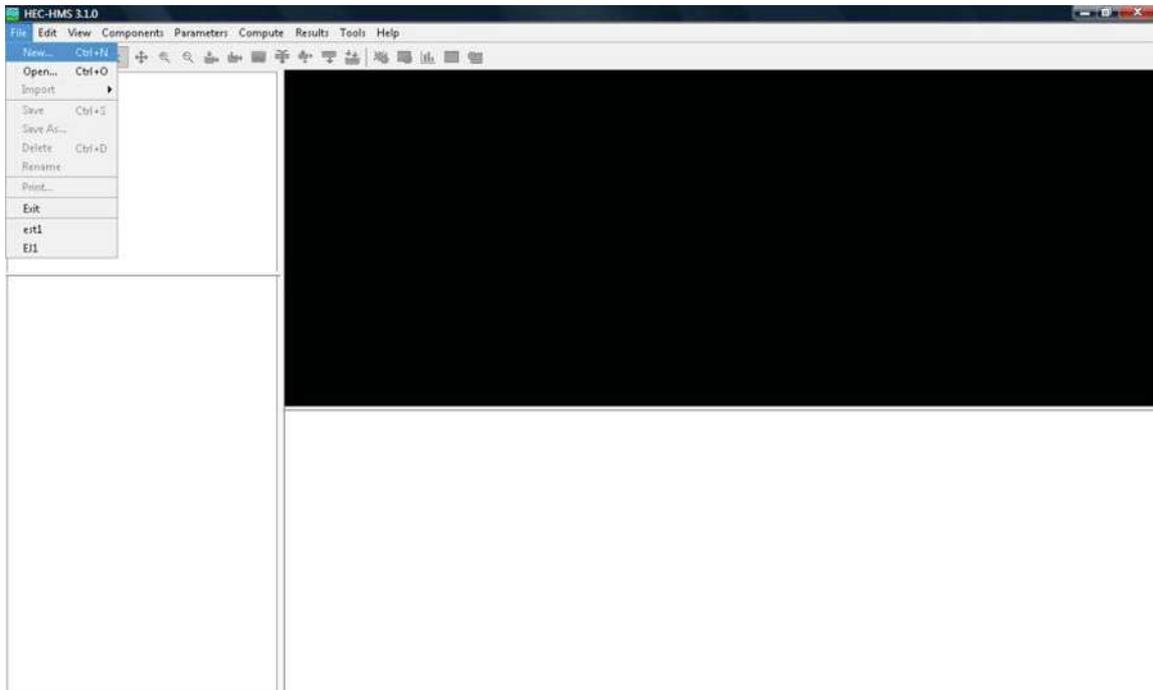


Figura 5.224, Muestra como generar un nuevo archivo.

En seguida nos aparecerá una ventana en la cual debemos de colocar el nombre del archivo, en nuestro caso puede ser el nombre del municipio o nombre de la zona de estudio “Coalcomán”, un poco más abajo podemos colocar una descripción, esta se puede dejar en blanco si se desea o se puede colocar alguna frase descriptiva, en esta misma ventana podemos guardar el archivo a generar, en ocasiones es común no poder seleccionar la dirección a donde se va enviar por lo cual debemos escribir la dirección, la última opción de la ventana nos permite colocar las unidades para trabajar, en nuestro caso serán métricas “Metric”, figura 5.225.

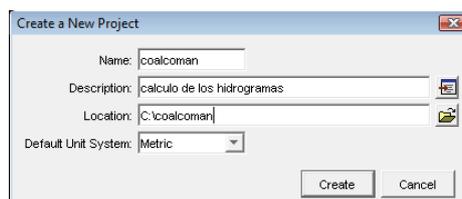


Figura 5.225, Muestra la ventana en la cual encontraremos las opciones anteriormente mencionadas.

Existe otra manera de determinar la ruta para guardar, esta es yéndonos al menú “Tools” en este seleccionáramos la opción “Program Settings”, figura 5.226.

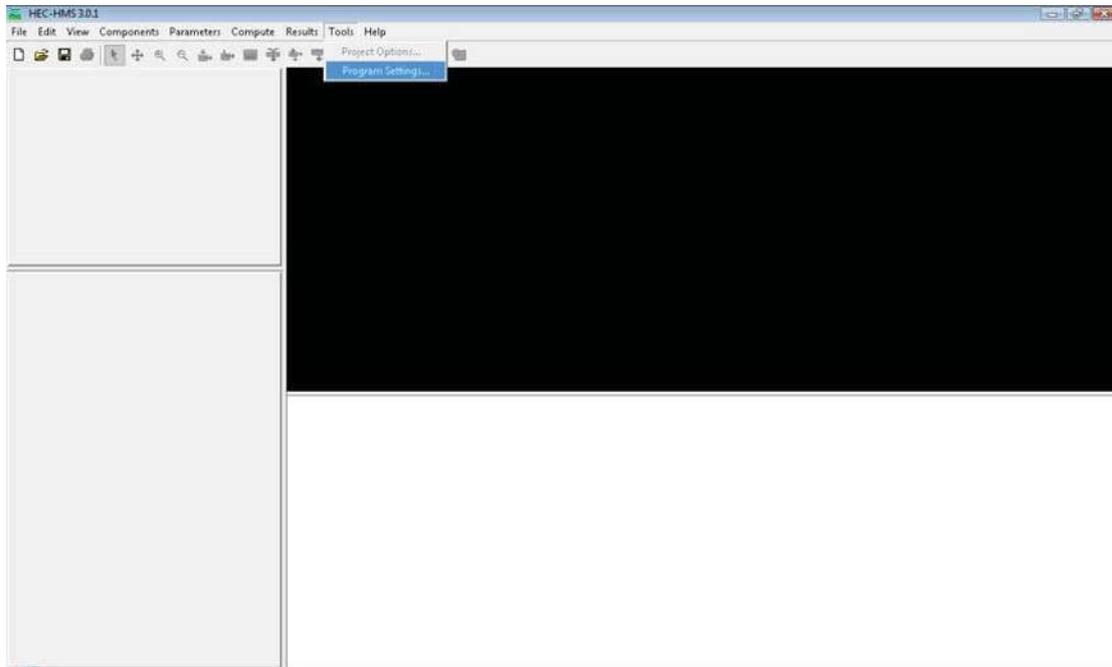


Figura 5.226, Muestra la manera de encontrar la opción “Program Settings”.

Al momento de seleccionar esta opción nos aparecerá una ventana en la cual podremos navegar para seleccionar la ruta de directorio donde guardaremos el proyecto, la manera de hacer la búsqueda es dando clic sobre , figura 5.227.

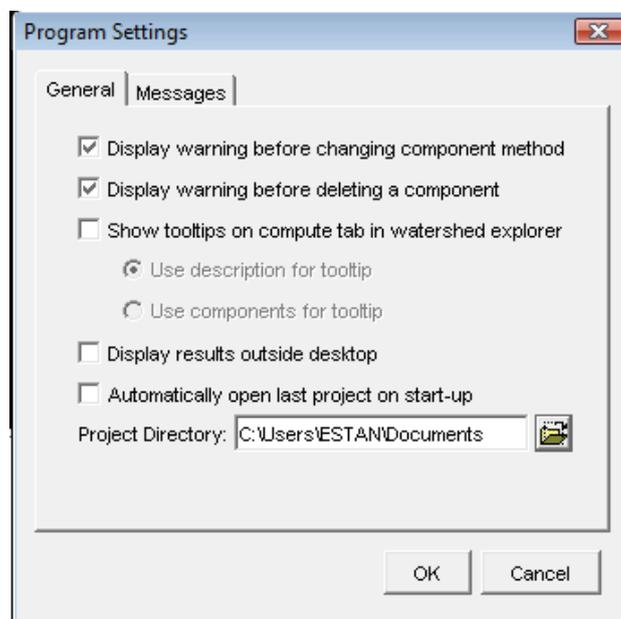


Figura 5.227, Muestra la ventana en la cual podemos dar clic sobre el icono que nos permitirá navegar al archivo donde deseamos guardar.

Al momento de crear un proyecto, como en el caso de la figura 2.225, nos aparecerá en “localitation” la ruta seleccionada anteriormente.

Antes de continuar es importante hablar sobre el espacio de trabajo el cual se encuentra dividido en las siguientes partes:

En el Explorador de Cuenca, irán apareciendo los distintos elementos que vallamos creando, como son las subcuentas, datos meteorológicos, etc.

Editor de componentes, cuando picamos en uno de los elementos del “Explorador de Cuenca”, abajo aparecen los parámetros correspondientes a ese elemento.

Escritorio, es el panel de trabajo donde situamos las subcuencas, causes, embalses, etc, figura 5.228.

Registro de mensajes, avisos (Warning) y errores, se muestran en el registro de mensajes. Los mensajes útiles para identificar porque una simulación ha fallado o porque una acción requerida no ha sido completada.

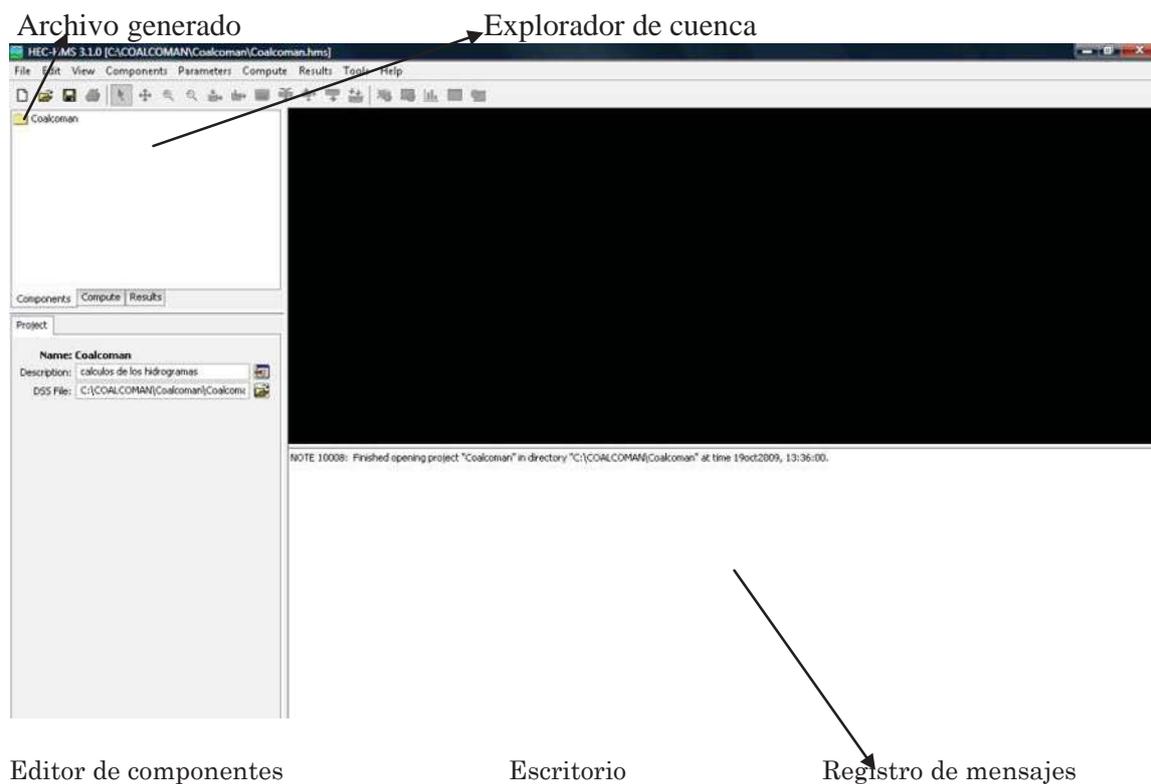
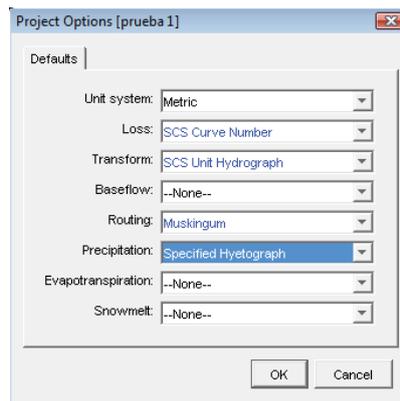


Figura 5.228, Muestra el área de trabajo del HEC-HMS 3.1.0.

En seguida elegiremos el método de cálculo a utilizar, nos vamos al menú “Tools” y en este seleccionaremos “Project Options”, nos aparecerá la ventana de la figura 5.229, en esta ventana en “Unit System” seleccionaremos “Metric”, en “Loss” seleccionaremos “SCS Curve Number”, en “Transform” seleccionar “SCS Unit Hydrograph”, en “Baseflow” se dejara “None”, en “Routing” seleccionar “Muskingum”, en “precipitation” seleccionar “Specified Hyetograph”, en “Evapo transpiration” y “Snowmelt” dejamos la opción “None”.



5.229, Muestra la ventana en la cual se colocaron las opciones mencionadas.

El siguiente paso es la creación del modelo de la cuenca, para la generación de esto es necesario ir al menú “Components” y en este seleccionar “Basin Model Manager”, figura 5.230.

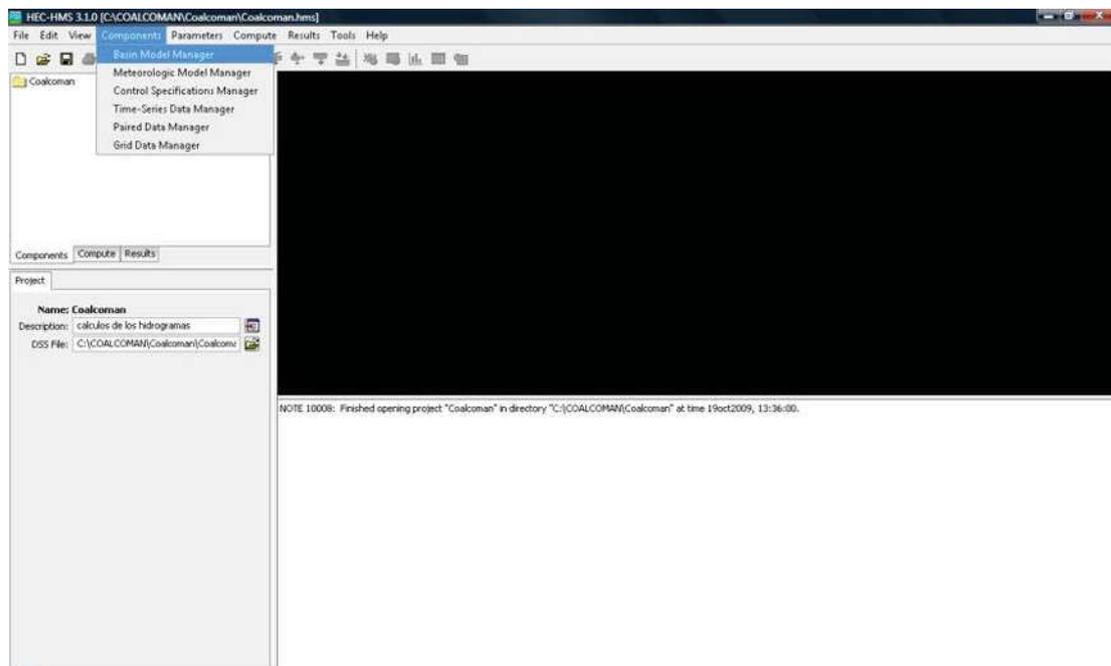


Figura 5.230, Muestra la forma de encontrar la opción “Basin Model Manager”.

Al momento de realizar la anterior selección nos aparecerá una ventana en la cual debemos crear los modelos a realizar que en nuestro caso serán las diferentes cuencas: Rio Grande, Rio Apamila, Rio Chiquito y Arroyo las Ánimas, para la creación de estos modelos es necesario seleccionar la opción “New”, figura 5.231.



Figura 5.231, En esta ventana se selecciona la opción “New” para cada cuenca, es decir si son cuatro cuencas se deberán de crear cuatro diferentes modelos.

Al seleccionar esta opción aparecerá una ventana en la cual nos pedirá el nombre y descripción del modelo a crear, los nombres para cada modelo a crear serán: Rio Grande, Rio Apamila, Rio Chiquito y Arroyo las Animas, al momento de la generación de estos modelos el resultado será el observado en la figura 5.232.

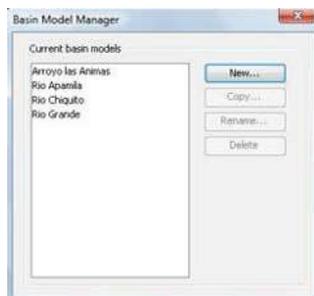


Figura 5.232, En esta ventana además de aparecer los modelos generados estos se pueden copiar, renombrar y eliminar.

En seguida cerraremos la ventana e iremos al explorador de cuenca donde se puede observar que aparecerá una nueva carpeta con el nombre de “Basin Models”, esta la podemos desplegar en el símbolo que aparece al lado “+” y en ella aparecerán los diversos modelos anteriormente generados, figura 5.233.

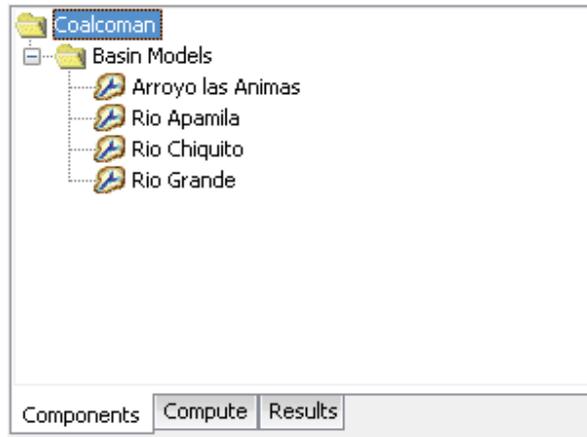


Figura 5.233, Se observan los diversos modelos que generamos, los cuales son las cuencas.

Enseguida dando doble clic sobre uno de los modelos generados “Rio Grande”, nos aparecerá en el escritorio una ventana en blanco, en esta ventana es el panel donde situaremos todos los elementos del modelo, como son las subcuencas, embalses, causes, etc, figura 5.234.

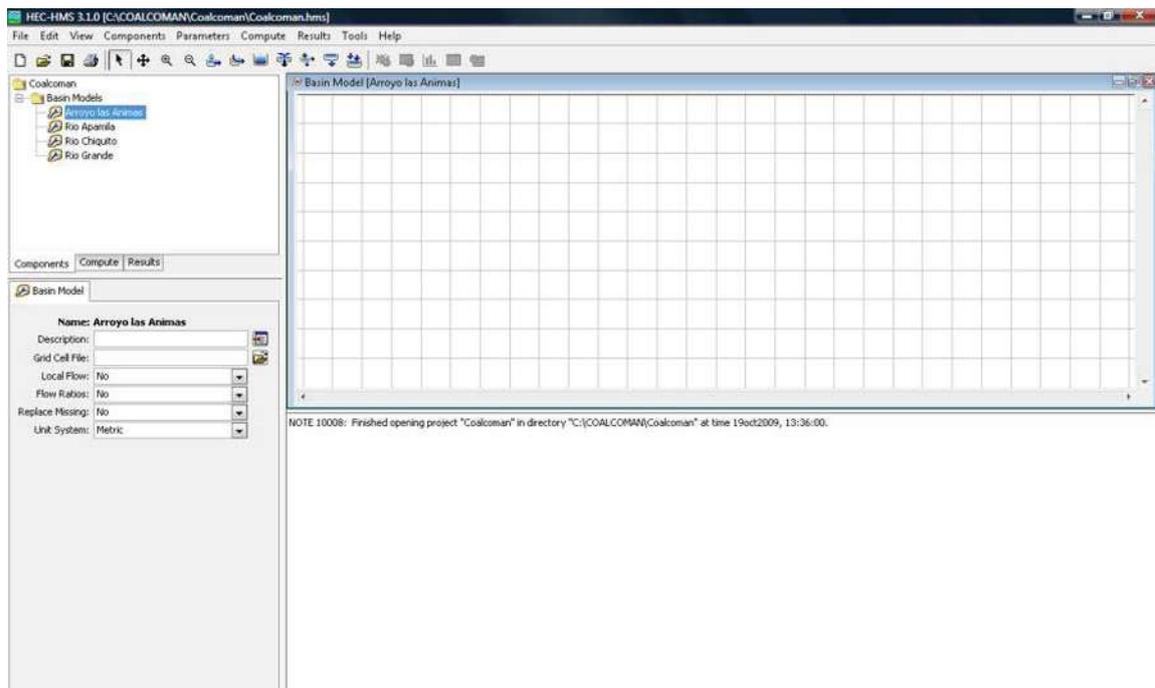


Figura 5.234, Muestra la ventana en blanco antes mencionada, en la parte inferior se muestran letras negras que son los procedimientos y rojas cuando algún procedimiento produjo un error, este error se corrige volviendo a realizar la aplicación que fallo y se sigue a delante.

En seguida para tener una mejor vista de lo que trabajamos es necesario traer una imagen de las cuencas, la imagen que traeremos será la de la figura 5.20, la forma de

realizar esto es en el menú “View” y en este la opción “Background maps”, nos aparecerá una ventana en la cual daremos clic en la opción “Add” y al instante nos aparecerá una ventana para la búsqueda del archivo, estos archivos pueden estar en formato .dlg, .shp, .img, .map, .dxf (en nuestro caso “.shp”), después de este procedimiento la ventana nos quedara de la siguiente manera, figura 5.235.

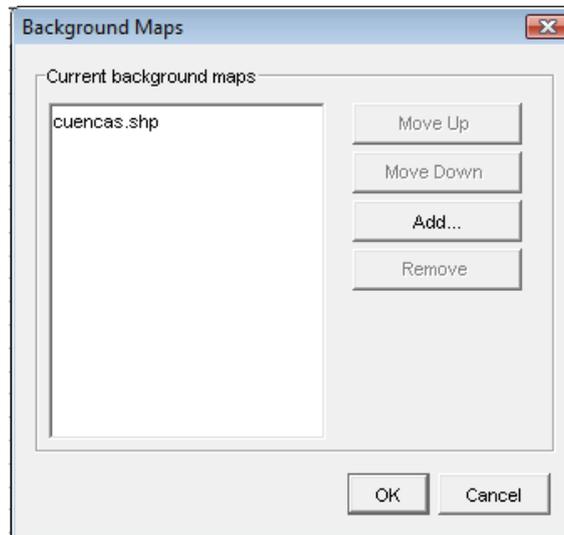


Figura 5.235, Muestra el “Shape” para abrir en el programa “HEC-HMS 3.1.0”

Al aceptar o dar clic sobre el botón “OK”, nuestro resultado será el siguiente, figura 5.236.

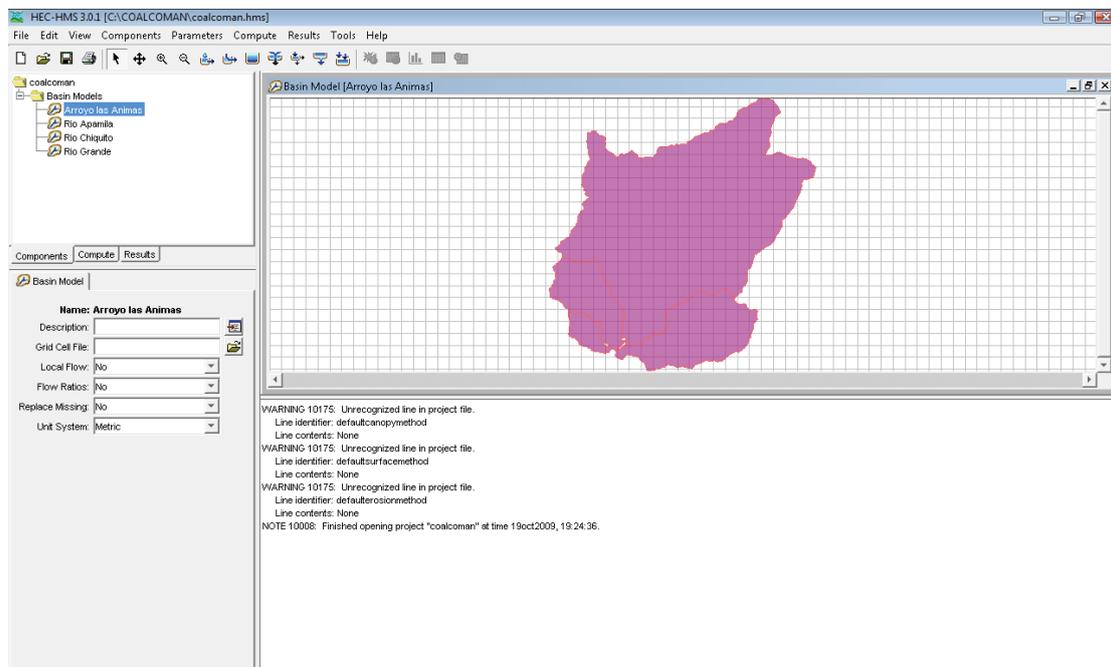
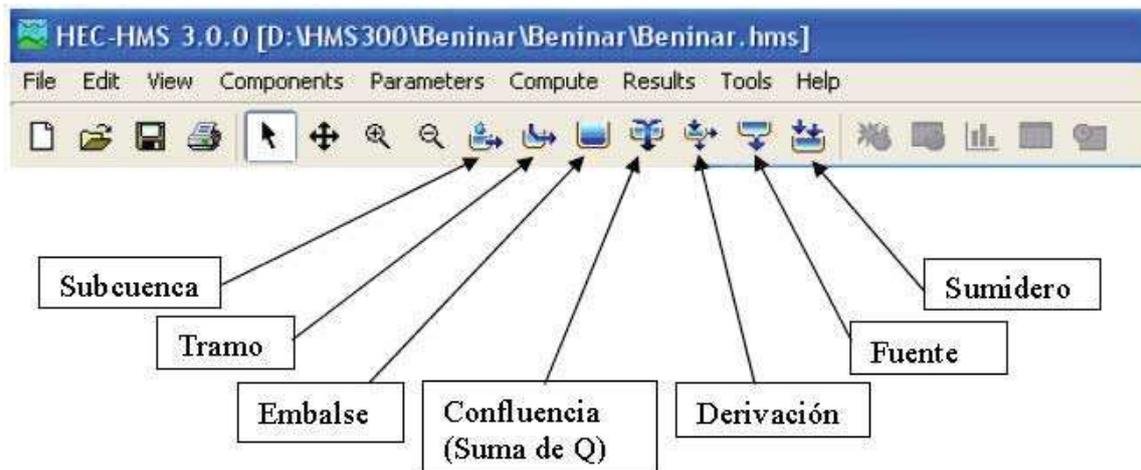


Figura 5.236, Muestra el “Shape” de las cuencas en el programa “HEC-HMS 3.1.0”.

De esta misma manera para cada cuenca o modelo se coloca la imagen.

En la parte superior se activan diversos iconos al momento de generar un modelo, estos nos ayudan para la creación del sistema de cuencas o simplemente la generación de la cuenca, figura 5.237.



Elemento Hidrológico	Descripción
Subcuenca (Subbasin)	Se usa para representar la cuenca física. Dada la precipitación, la salida de agua de la subcuenca se calcula restando las pérdidas a la precipitación y transformando el exceso de precipitación en caudal en el punto de salida de la subcuenca, sumando finalmente el caudal base.
Tramo (Reach)	Se usa para transportar el agua generada en algún punto de la cuenca hacia aguas abajo hasta otro punto de la cuenca, definidos ambos en el modelo de la cuenca. La respuesta de este transporte es un retardo y una atenuación del hidrograma de entrada.
Unión (Junction)	Se usa para sumar flujos de agua que provienen de elementos hidrológicos situados aguas arriba de la unión. La respuesta es simplemente la suma de los hidrogramas de todos los elementos conectados a la unión.
Fuente (Source)	Se usa para introducir agua dentro del modelo de la cuenca. Este elemento no tiene entrada y la salida está definida por el usuario.
Sumidero (Sink)	Se usa para representar el punto de salida de la cuenca. La entrada puede provenir de uno o más elementos situados aguas arriba del sumidero. Este elemento no tiene salida.
Depósito (Reservoir)	Se usa para modelar la retención y atenuación de un hidrograma causado por un embalse o depósito de retención. La entrada puede provenir de uno o varios elementos hidrológicos situados aguas arriba del depósito. La salida puede calcularse de 2 maneras: el usuario define una relación almacenamiento-salida, cota-almacenamiento-salida o cota-área-salida o bien el usuario define una relación cota-almacenamiento o cota-área y una o más estructuras de salida.
Derivación (Diversion)	Se usa para modelar un flujo de agua que abandona un tramo de cauce. La entrada proviene de uno o varios elementos de aguas arriba. La salida de este elemento consiste un flujo derivado y otro no derivado (que sigue por el cauce). El flujo derivado se define por el usuario. Tanto los flujos derivado como no-derivado se pueden conectar aguas abajo con otros elementos.

Figura 5.237, Muestra los diferentes iconos y la descripción de la función de cada uno.

Como anteriormente se menciona, esta cuenca se trabajara por separado por lo cual para generarla es necesario dar clic en el botón o icono “Subbasin Creation Tool” , en seguida daremos un clic sobre la cuenca correspondiente encontrada en el escritorio, en el instante nos aparecerá una ventana en la cual daremos el nombre de la cuenca y daremos clic en “Create”, el resultado del procedimiento nos quedara como se muestra en la figura 5.238.

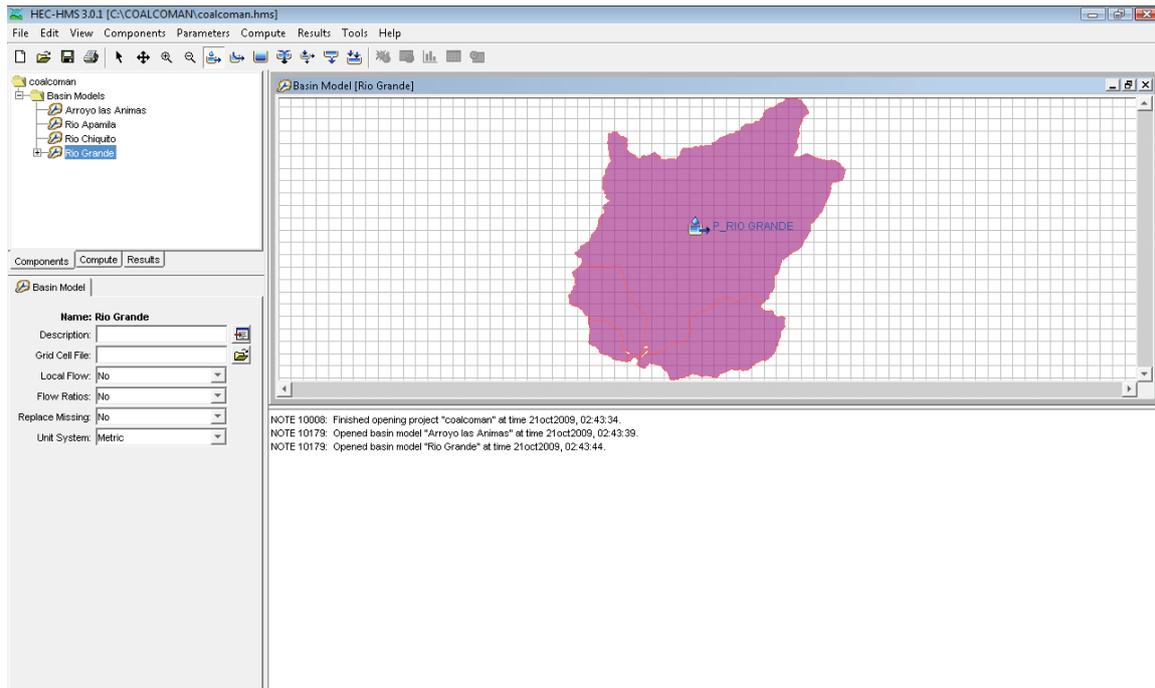


Figura 5.238, Muestra la forma en cómo quedara el anterior procedimiento.

El anterior procedimiento se debe de realizar para cada cuenca o modelo.

En el explorador de cuenca apareció un nuevo archivo, el cual se puede desplegar en el modelo donde estamos trabajando, seleccionamos el modelo “RIO GRANDE”  y nos vamos al menú “Parameters” y en este en la opción “Subbasin Area”, esto nos producirá una ventana en la cual introduciremos el área de la cuenca, en nuestro caso las áreas de las cuencas a utilizar serán las calculadas en “AutoCad”, para el caso de la cuenca Rio grande será 232.2243 km² (figura 5.239) y en seguida daremos “Apply”, una vez realizado lo anterior cerraremos “Close”, esto se realiza para cada cuenca.

Tabla de áreas obtenidas en “AutoCad”.

AREAS	GRANDE	CHIQUITO	APAMILA	ANIMAS	
Área de la cuenca (A)	Km ²	232.2243	25.1810	44.7431	6.9210

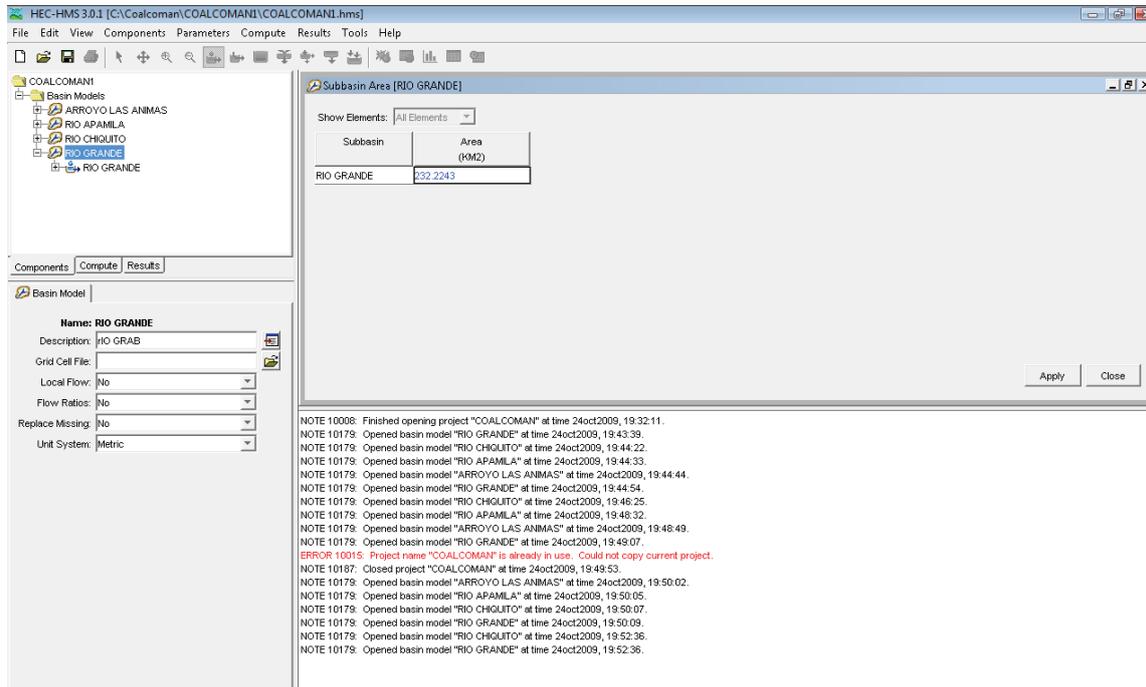


Figura 5.239, Ventana en la cual podemos colocar el área en km2.

Enseguida colocaremos los parámetros de pérdidas, al igual que anteriormente se colocara el ejemplo con la cuenca Rio Grande, en el menú “Parameters” seleccionaremos la opción “Loss” y en esta seleccionaremos “SCS Curve Number”, aparecerá una tabla con tres campos para rellenar “Abstracción” inicial (Initial Abstraction) en mm, el numero de curva (curve number), correspondiente al número de escurrimiento y el porcentaje de área impermeable (% impervious), el campo de abstracción se puede dejar en blanco, eso significa que lo calculará el programa $0.2 \cdot S$, figura 5.240.

Tabla de los números de escurrimiento.

<i>Cuenca</i>	<i>N</i>
Grande	76.8629
Apamila	76.9717
Chiquito	74.796
Animas	77.1949

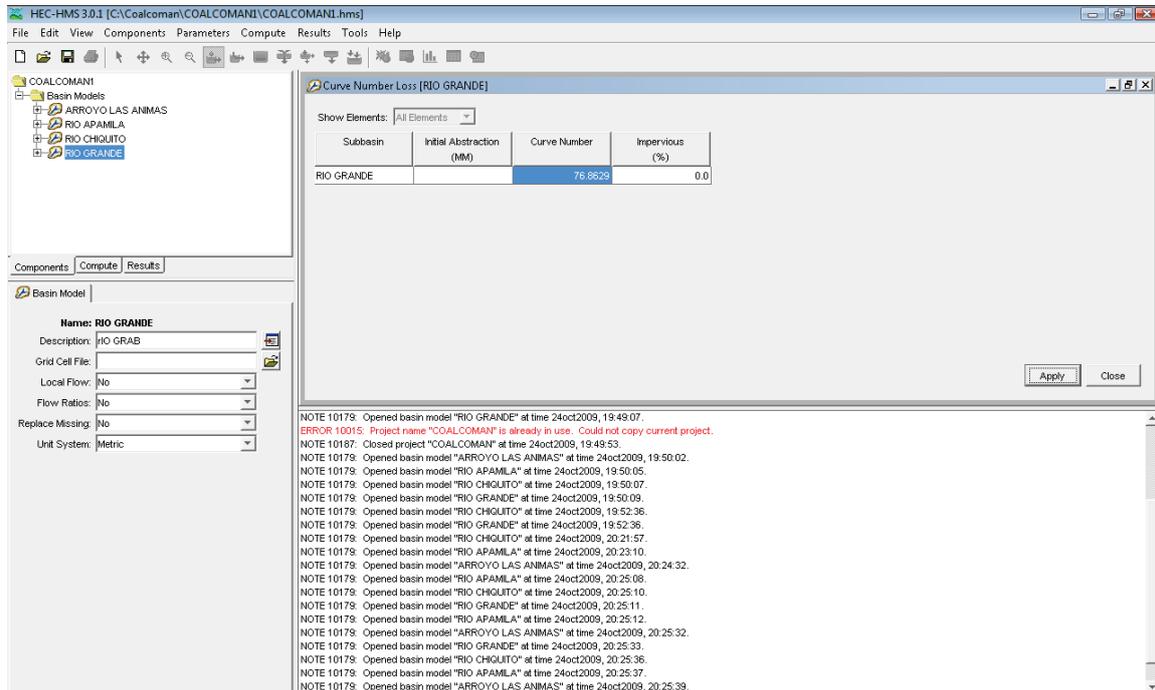


Figura 5.240, Muestra la tabla en la cual colocaremos el número de escurrimiento.

Se realizara para cada cuenca el anterior procedimiento con respecto al número de escurrimiento correspondiente, una vez colocado el numero de escurrimiento daremos “Apply” y después “Close”.

Enseguida trabajaremos con los parámetros para la transformación lluvia-caudal, para esto nos iremos al menú “Parameters” en este al menú “Transform” y seleccionaremos “SCS Unit Hydrograph”, nos aparecerá una ventana en la cual nos solicita únicamente el “Lag” en minutos, (tiempo que transcurre desde la P neta hasta la punta del hidrograma o también conocido como tiempo de demora o de retraso “Tg” el cual separa el centro de gravedad de un hidrograma, y el del hidrograma superficial correspondiente), la formula es la siguiente.

$$T_g = 0.126 \left(\frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0.76}$$

Donde:

Tg = tiempo de retraso o de demora.

L = longitud del cauce principal.

J = pendiente media del cauce principal.

	<i>Grande</i>	<i>Chiquito</i>	<i>Apamila</i>	<i>Las Ánimas</i>
P. media Cauce Principal m/m	0.011188	0.018177	0.019634	0.040304

	<i>Grande</i>	<i>Chiquito</i>	<i>Apamila</i>	<i>Las Ánimas</i>
Longitud Cauce Principal (L), km	36.3181	10.6925	16.5251	5.8076

Como ejemplo colocaremos el cálculo para la Cuenca Rio Grande,

$$T_g = 0.126 \left(\frac{36.3181}{0.011188^{1/4}} \right)^{0.76} = 4.537338 \text{ horas}$$

Como necesitamos estos valores en minutos debemos multiplicar por 60 que son los minutos que tiene una hora.

$$T_g = (4.537338 * 60) = 272.2403 \text{ minutos.}$$

Al igual que anteriormente daremos “Apply” y después “Close”, figura 5.241.

	<i>Grande</i>	<i>Chiquito</i>	<i>Apamila</i>	<i>Las Ánimas</i>
Tiempo de retraso (minutos)	272.2403	98.0196	134.4744	52.9838



Figura 5.241, Muestra la manera de colocar el tiempo de concentración en minutos.

Nuestro siguiente paso es la creación de la tormenta de proyecto, para ello nos vamos al menú “Components” y en esta seleccionamos la opción “Time-Series Data Manager”,

en la ventana que nos aparezca crearemos los diferentes periodos de retorno, dando clic en “New”, los periodos serán a 2, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000 años para la cuenca Rio Grande, para cuenca Rio Chiquito los periodos de retorno tendrán la clave “CH”, para la cuenca Rio Apamila “AP”, para la cuenca Arroyo las Animas “AR”, figura 5.242.

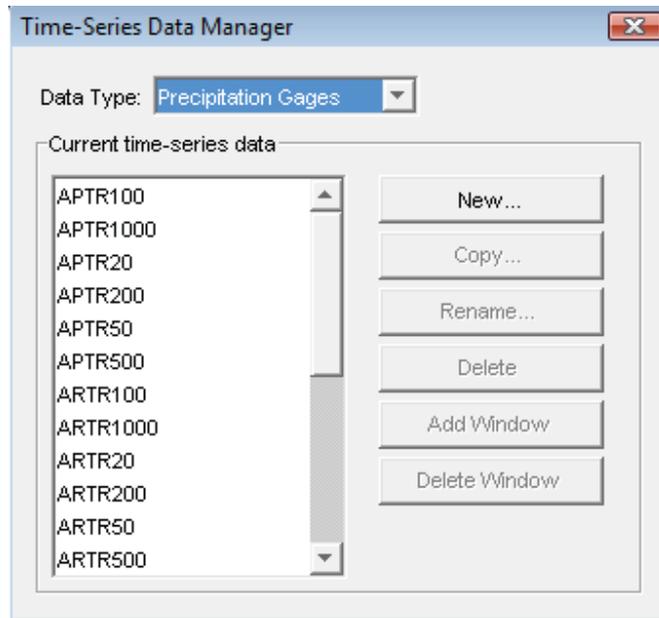


Figura 5.242, Muestra las diferentes tormentas de proyecto, para cada periodo de retorno.

En el explorador de cuenca nos podemos dar cuenta de la nueva carpeta aparecida, en esta al momento de desplegarla nos aparecerá otra carpeta la cual es contenedora de las tormentas de proyecto, figura 5.243.

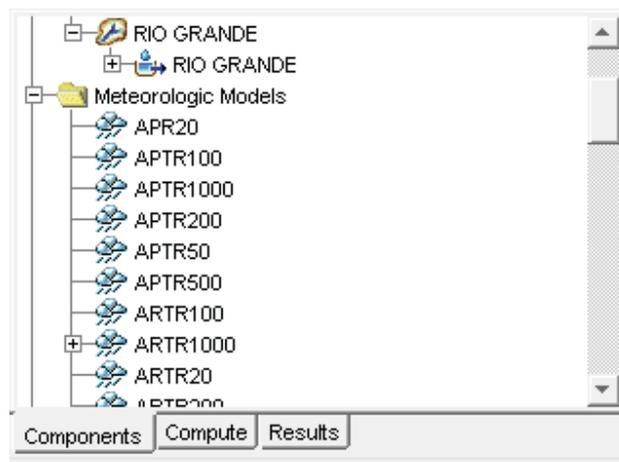


Figura 5.243, Muestra el explorador de cuenca en el que podemos encontrar la carpeta con las diferentes tormentas de proyecto.

Si seleccionamos uno de los pluviómetros, por ejemplo TR20 en el editor de componentes aparecerán sus propiedades, en la opción “Data Source” se colocara o se dejara la opción “Manual Entry”, en la opción “Units” se colocara la opción “Incremental Milimeters” debido a que son precipitaciones totales las que se van a dar y no acumulativas, por ultimo en esta pestaña en la opción “Time Interval” se colocara a una hora, las demás opciones se dejaran en cero.

Desplegamos el pluviómetro y en este seleccionaremos  01ene2000, 00:00 - 02ene2000, 00:00 y en el editor de componentes en la pestaña “Time Windows” se colocara la fecha o el día del intervalo así como la hora de inicio y la hora final, para nuestro caso el intervalo horario lo podemos observar en la figura 5.244, este día puede ser cualquier fecha.

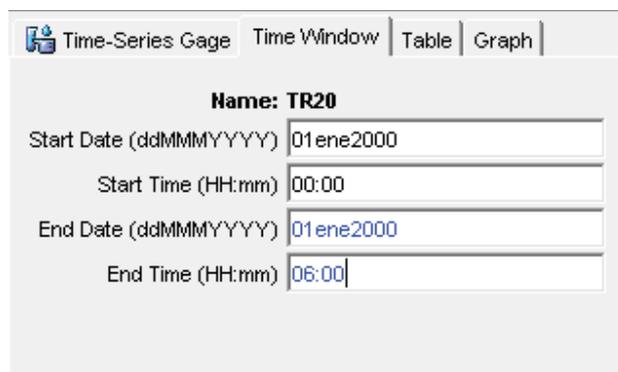
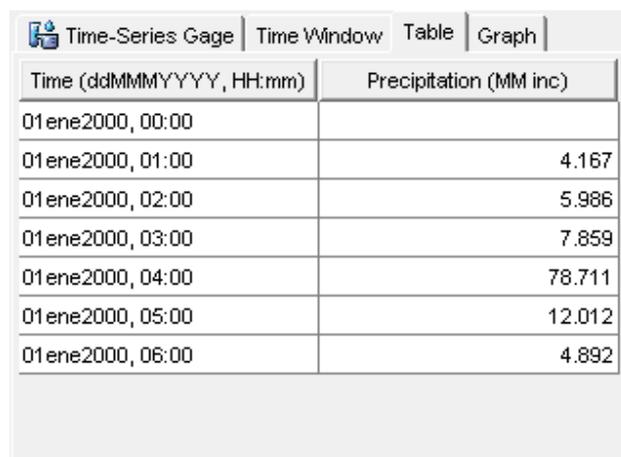


Figura 5.244, Muestra el intervalo de tiempo en el que se analizara la lluvia en nuestro caso en 6 horas.

En la pestaña “Table” se colocaran las precipitaciones calculadas para un periodo de retorno (equivalente al incremento ordenado en mm) a 20 años, las cuales se pueden encontrar en el capítulo IV, estos valores solo son los calculados de las horas corridas, es decir de 1 hora hasta las 6 horas, figura 5.245.



Time (ddMMMYYYY, HH:mm)	Precipitation (MM inc)
01ene2000, 00:00	
01ene2000, 01:00	4.167
01ene2000, 02:00	5.986
01ene2000, 03:00	7.859
01ene2000, 04:00	78.711
01ene2000, 05:00	12.012
01ene2000, 06:00	4.892

Figura 5.245, Muestra el llenado de datos para el periodo de retorno de 20 años para la cuenca Río Grande.

La última pestaña “Graph” nos muestra graficadas las precipitaciones, figura 5.246.

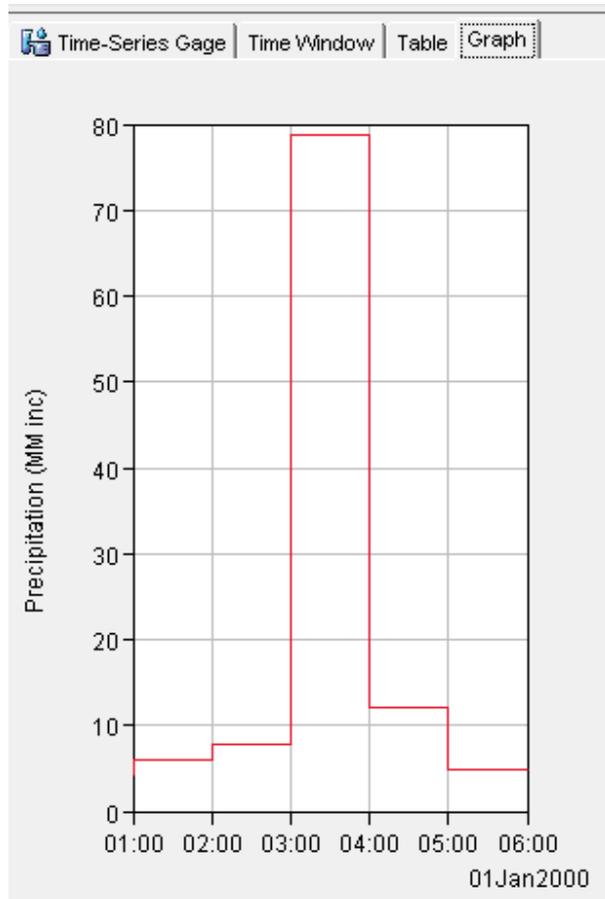


Figura 5.246, Precipitaciones graficadas.

El procedimiento anterior se realiza para cada tormenta de proyecto y para cada una de las cuencas.

En seguida generaremos un modelo meteorológico, para esto nos vamos al menú “Components” y en la opción “Meteorologic Model Manager”, con la ventana que nos aparezca podemos generar un nuevo modelo el nombre puede ser el periodo de retorno, figura 5.247, al igual que en las anteriores en el editor de cuencas nos aparecerá una carpeta que tendrá los modelos generados, en este podemos especificar el tipo de precipitación, y, si lo deseamos, métodos para la evapotranspiración y para la fusión de la nieve, en el explorador de cuenca seleccionaremos uno de los modelos meteorológicos creados “TR20”, en el editor de componentes en la pestaña “Meteorologic Model” en “Precipitation” elegir “Gage Weights” y en “Unit system” elegir “Metric”, en la pestaña “Basins” en “Include Subbasins” elegir “Yes” para la cuenca en la que vayamos a trabajar, en la otra pestaña no se hacen modificaciones.

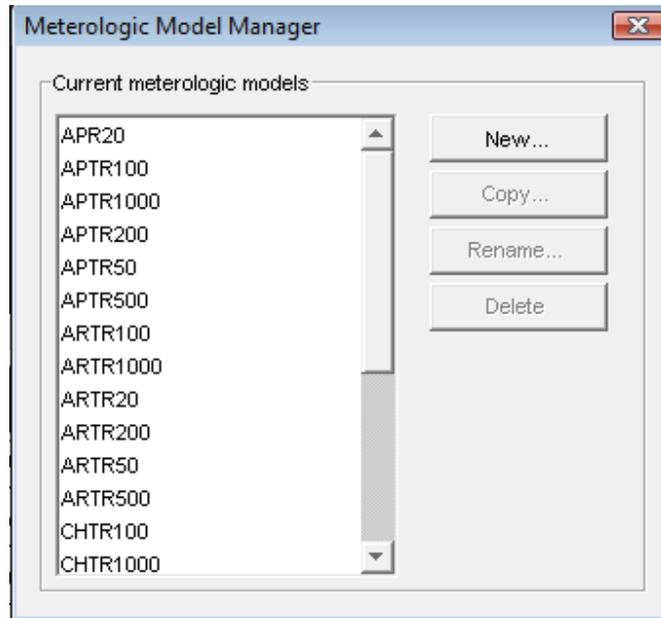


Figura 5.247, Diferentes periodos de retorno generados.

Ahora desplegaremos el modelo meteorológico y seleccionaremos la opción que nos aparece  Specified Hyetograph, en el editor de componentes en la opción “Gage” seleccionaremos para nuestro caso “TR20” y en la segunda opción no se colocara nada, figura 5.248.

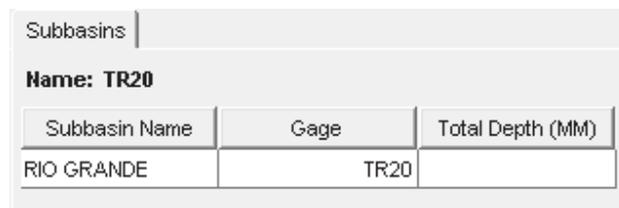


Figura 5.248, Muestra el editor de componentes para  Specified Hyetograph, con sus respectivas opciones.

Lo anterior se realiza para cada tiempo de retorno de cada cuenca.

En seguida definiremos las especificaciones de control, para esto debemos de ir al menú “Components” y en este a “Control Specifications Manager”, en la ventana que nos aparezca generaremos un control “New”, en nuestro caso utilizamos el nombre que se nos da por default, creamos y cerramos la ventana en el explorador de cuenca aparecerá una carpeta “Control Specifications” y un icono dentro de ella, debemos hacer un clic en él. En el editor de componentes aparecerán las propiedades, ingresaremos las fechas y horas de comienzo y fin de estudio (el estudio debe durar hasta varias horas después de haber cesado de llover, en nuestro caso le daremos las

24 horas), después seleccionaremos un intervalo de tiempo con el que deseamos realizar las simulaciones, figura 5.249.

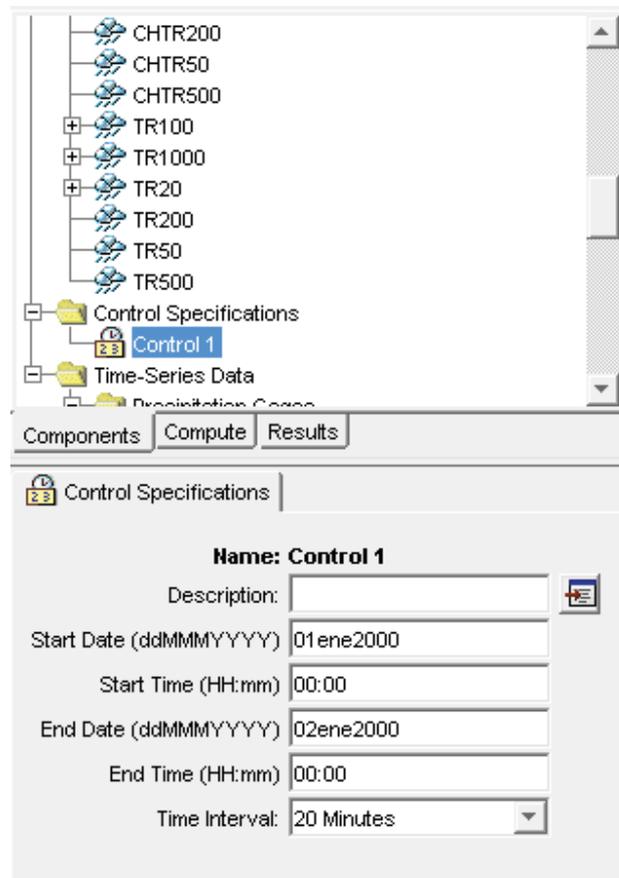
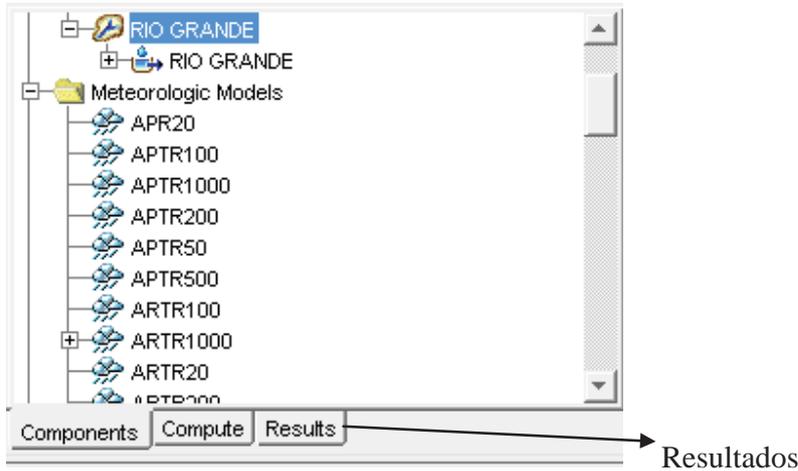


Figura 5.249, Muestra las propiedades del control donde se metieron fechas y un lapso de tiempo.

A continuación crearemos una simulación para cada periodo de retorno de cada cuenca, para esto debemos ir al menú “Compute” y en esta seleccionar “Create Simulation Run”, al realizar lo anterior nos aparecerá una ventana en la cual podemos dar el nombre para guardar dicha simulación (es conveniente colocar el nombre del periodo de retorno con el que vamos a trabajar así como la clave correspondiente de la cuenca para el periodo de retorno), realizando esto daremos “Next”, en la siguiente ventana seleccionaremos la cuenca en la que estamos trabajando, daremos “Next” y luego nos pedirá definir el modelo, en nuestro caso TR20, damos “Next”, y por último sería la selección del control pero como solo tenemos uno no hay problema y daremos “Finish”.

En seguida ejecutaremos la simulación, esto lo realizamos en el menú “Compute” en la opción “Select Run” y en esta nos aparecerán las simulaciones que hayamos realizado como en nuestro caso solo hemos realizado una hasta el momento solo esa aparecerá, esta es seleccionada, en seguida nos volvemos a meter al menú “Compute” y en este seleccionaremos la opción “Compute Run [nombre de la simulación]”, para nuestro

caso “Compute Run [tr20]”, en seguida nos aparecerá una ventana del proceso, si este fue realizado correctamente aparecerá hasta el 100%, si no es así debemos verificar algún paso, suponiendo que todo sea correcto cerraremos la ventana e iremos al explorador de cuenca en este en la parte inferior se tiene la opción de resultados, figura 5.250.



5.250, En el explorador seleccionaremos la opción de resultados.

Una vez seleccionada la opción de resultados nos aparecerá una carpeta, la cual se puede desplegar y en esta seleccionar la simulación deseada, pueden ser varias simulaciones según hayamos creado, esta también se despliega y en ella encontraremos dos opciones, la opción “Global Summary” nos muestra los resultados en resumen, figura 5.251.

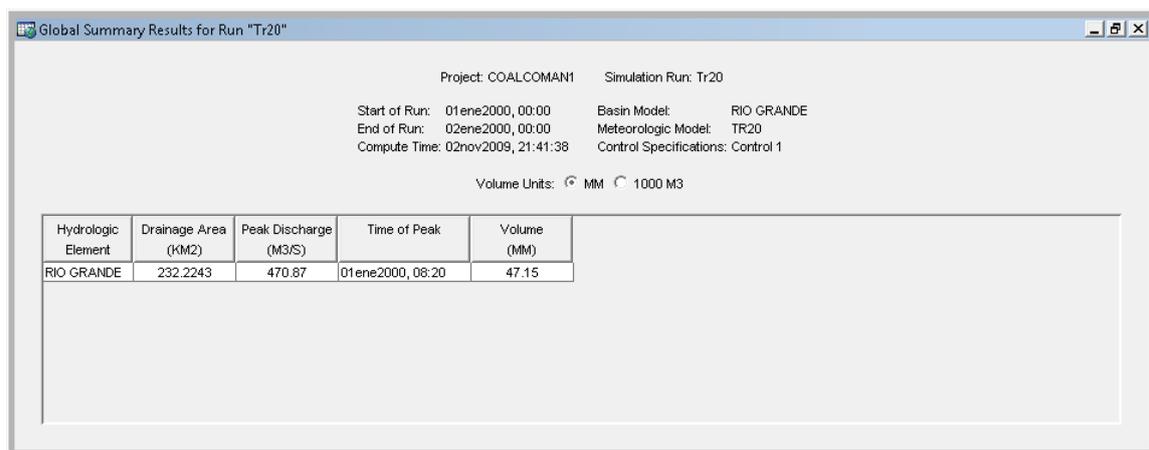


Figura 5.251, En esta figura se aprecia el nombre de la cuenca con la que estamos trabajando, el área de dicha cuenca, el gasto pico en m3/s (543.20 m3/s), la hora en que ocurrió (07:40) y el incremento de pérdida real en mm.

En la segunda opción que se nos muestra que es propiamente el nombre de la cuenca, se puede desglosar y en estas opciones encontraremos el hidrograma, tal como se muestra en la figura 5.252.

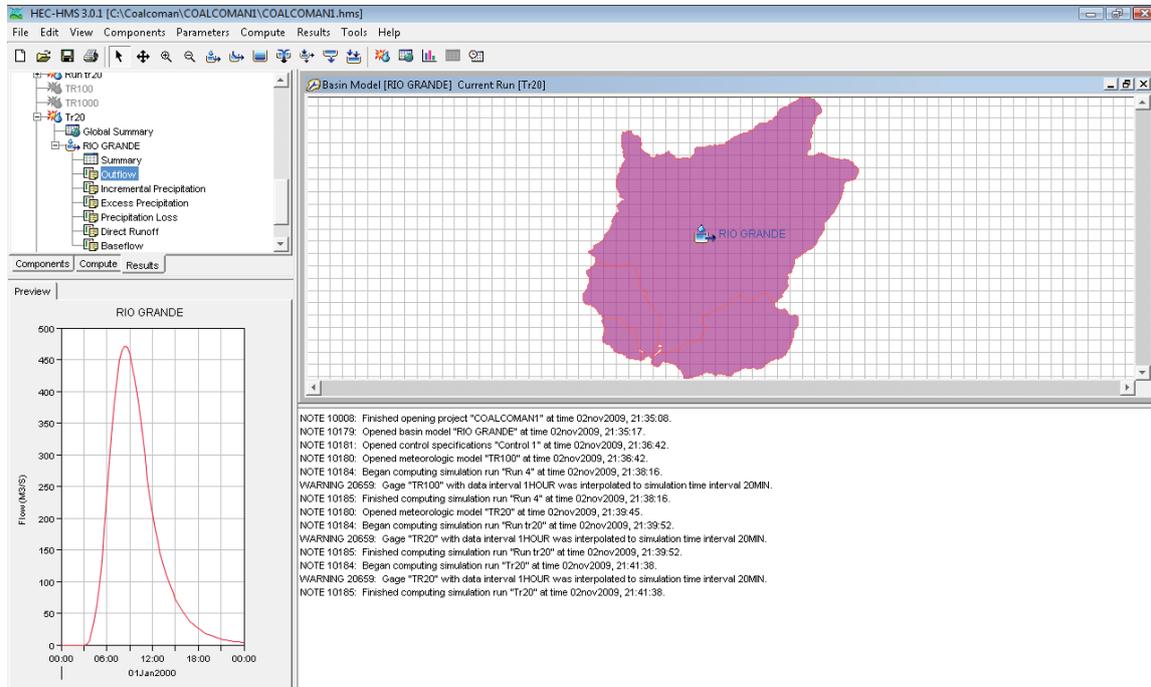


Figura 5.252, Muestra el hidrograma para un periodo de retorno a 20 años de la cuenca Rio Grande.

Para poder ver de una forma más clara de este hidrograma, nos vamos al icono  el cual nos mostrara el hidrograma como se muestra en la figura 5.253.



Figura 5.253, Muestra el hidrograma del periodo de retorno de 20 años para la cuenca Rio Grande.

Los resultados de la Cuenca Rio Grande para los periodos de retorno TR50 (Figura 5.254), TR100 (Figura 5.255), TR200 (Figura 5.256), TR500 (Figura 5.257) y TR1000 (Figura 5.258).

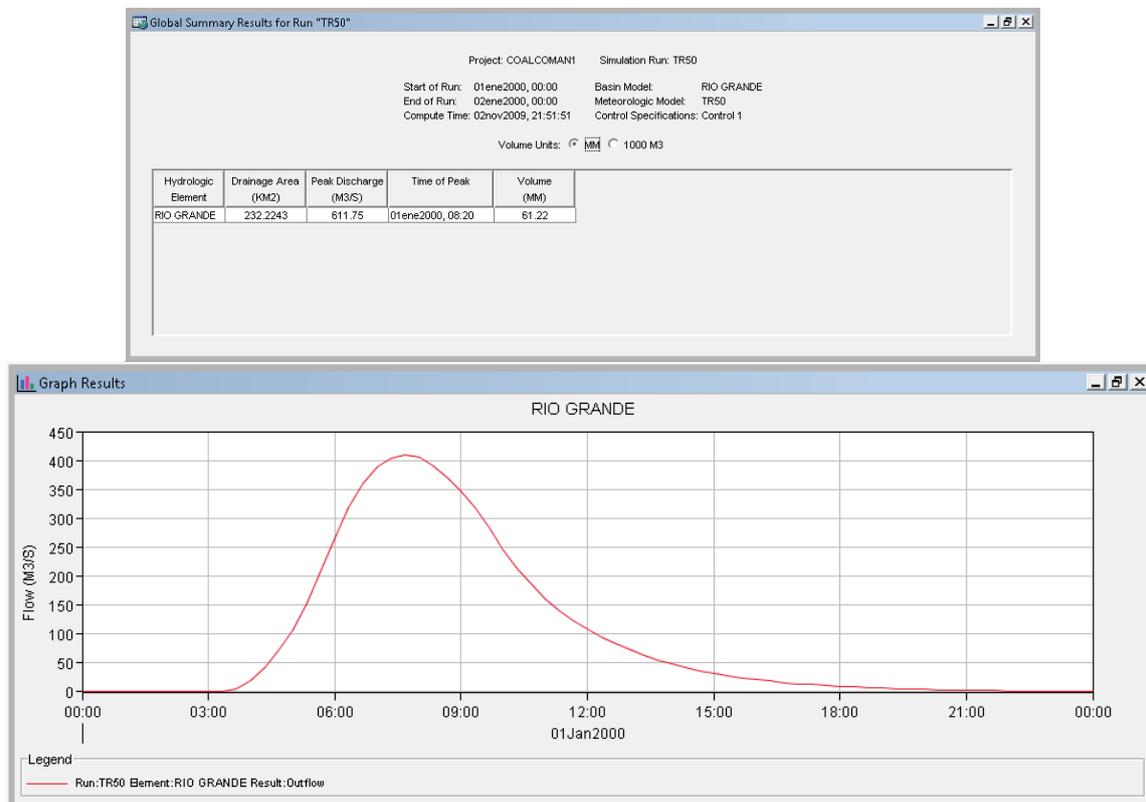


Figura 5.254, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 50 años de la Cuenca Rio Grande.

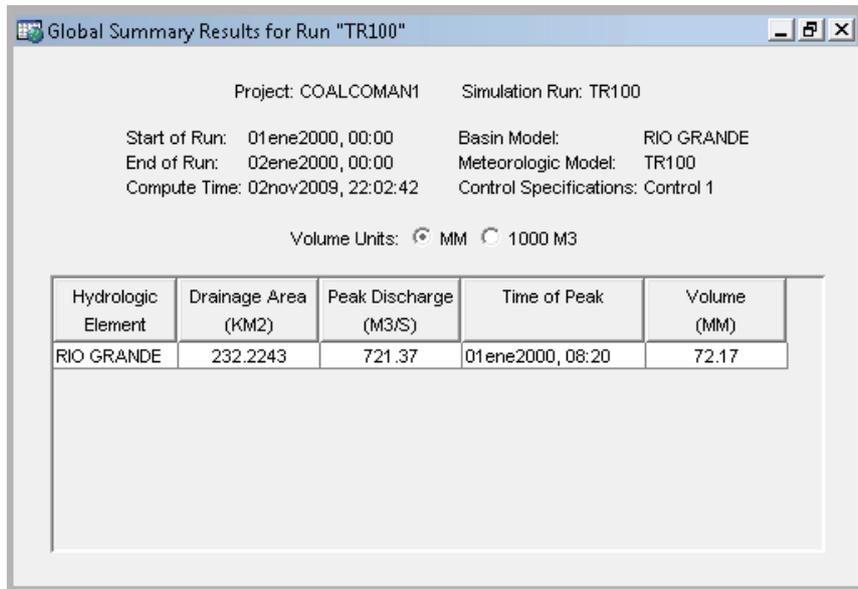


Figura 5.255, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 100 años de la Cuenca Rio Grande.

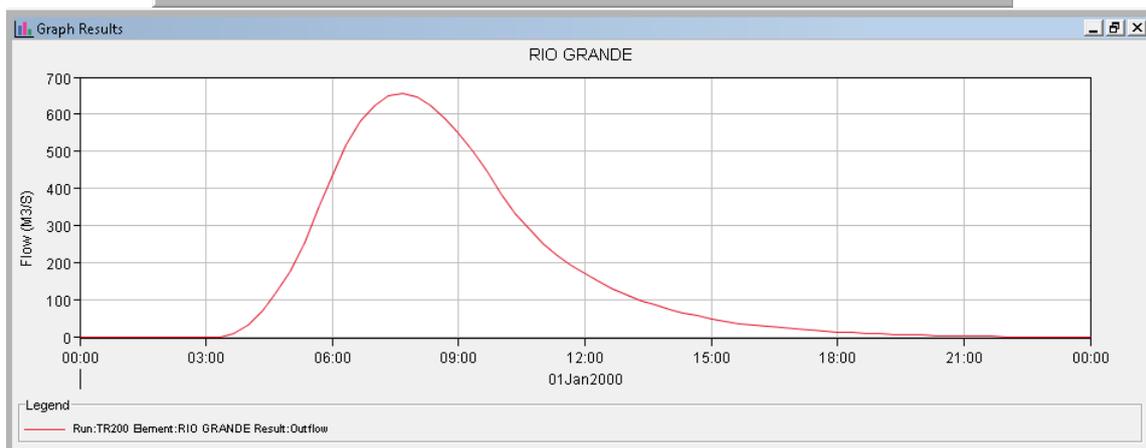
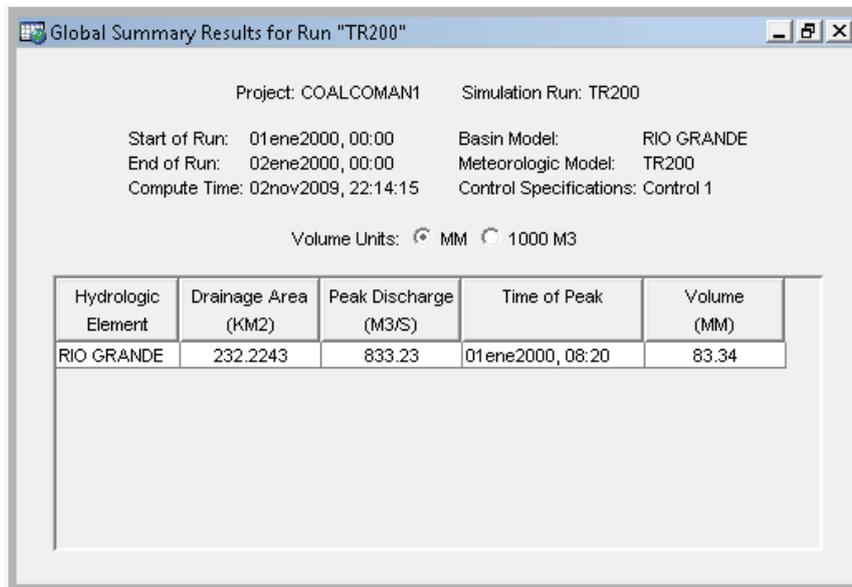


Figura 5.256, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 200 años de la Cuenca Rio Grande.

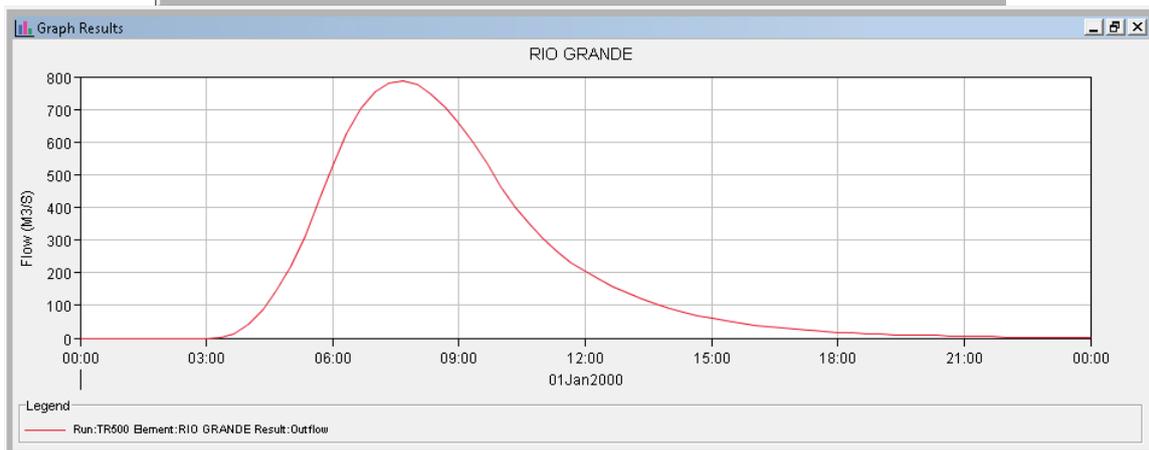
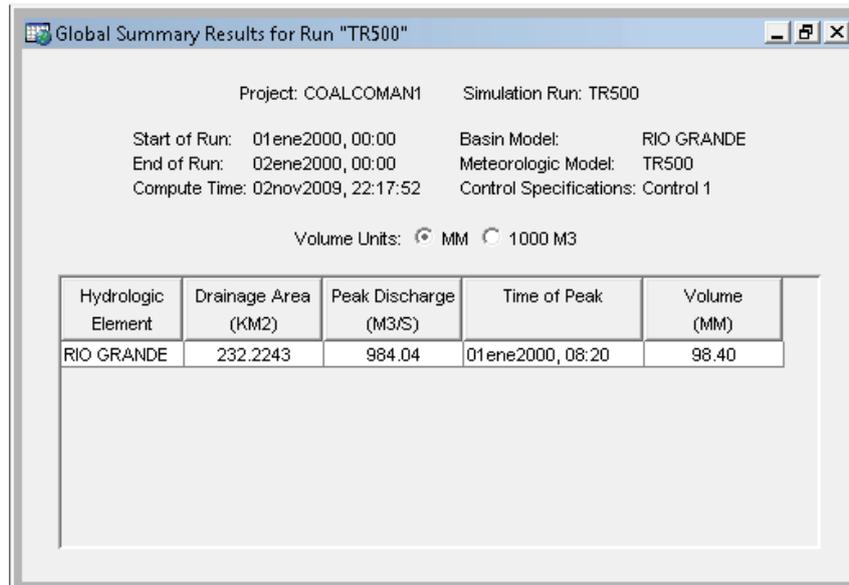


Figura 5.257, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 500 años de la Cuenca Rio Grande.

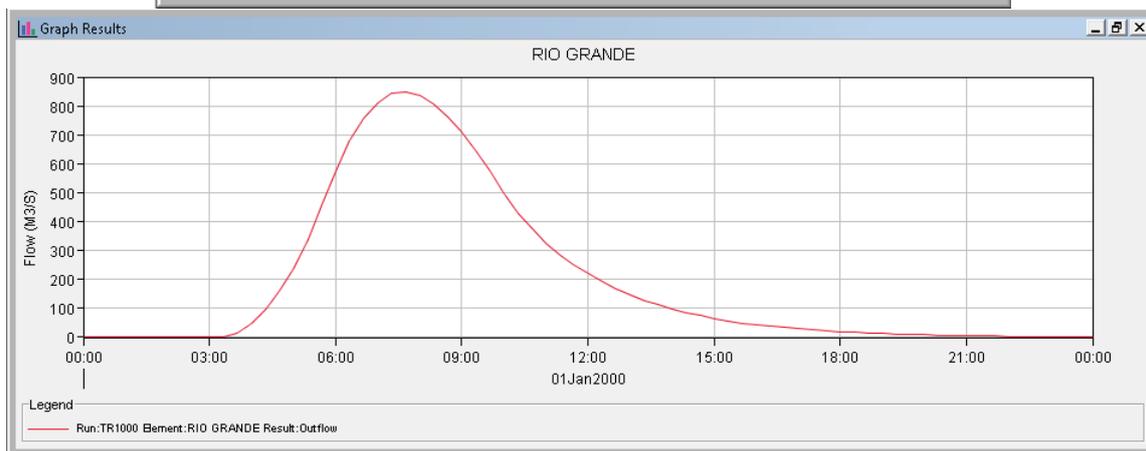
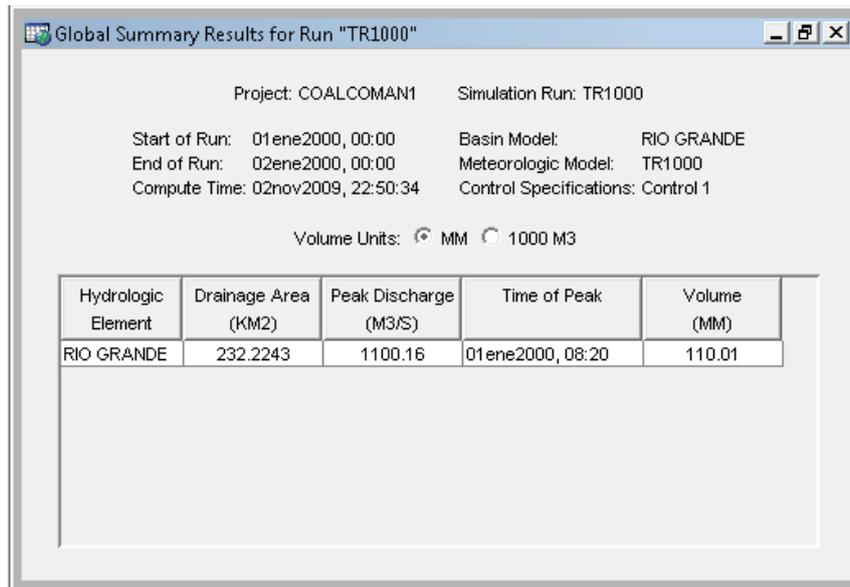


Figura 5.258, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 1000 años de la Cuenca Rio Grande.

Los resultados de la Cuenca Rio Chiquito para los tiempos de retorno TR20(figura 5.259), TR50 (Figura 5.260), TR100 (Figura 5.261), TR200 (Figura 5.262), TR500 (Figura 5.263) y TR1000 (Figura 5.264).

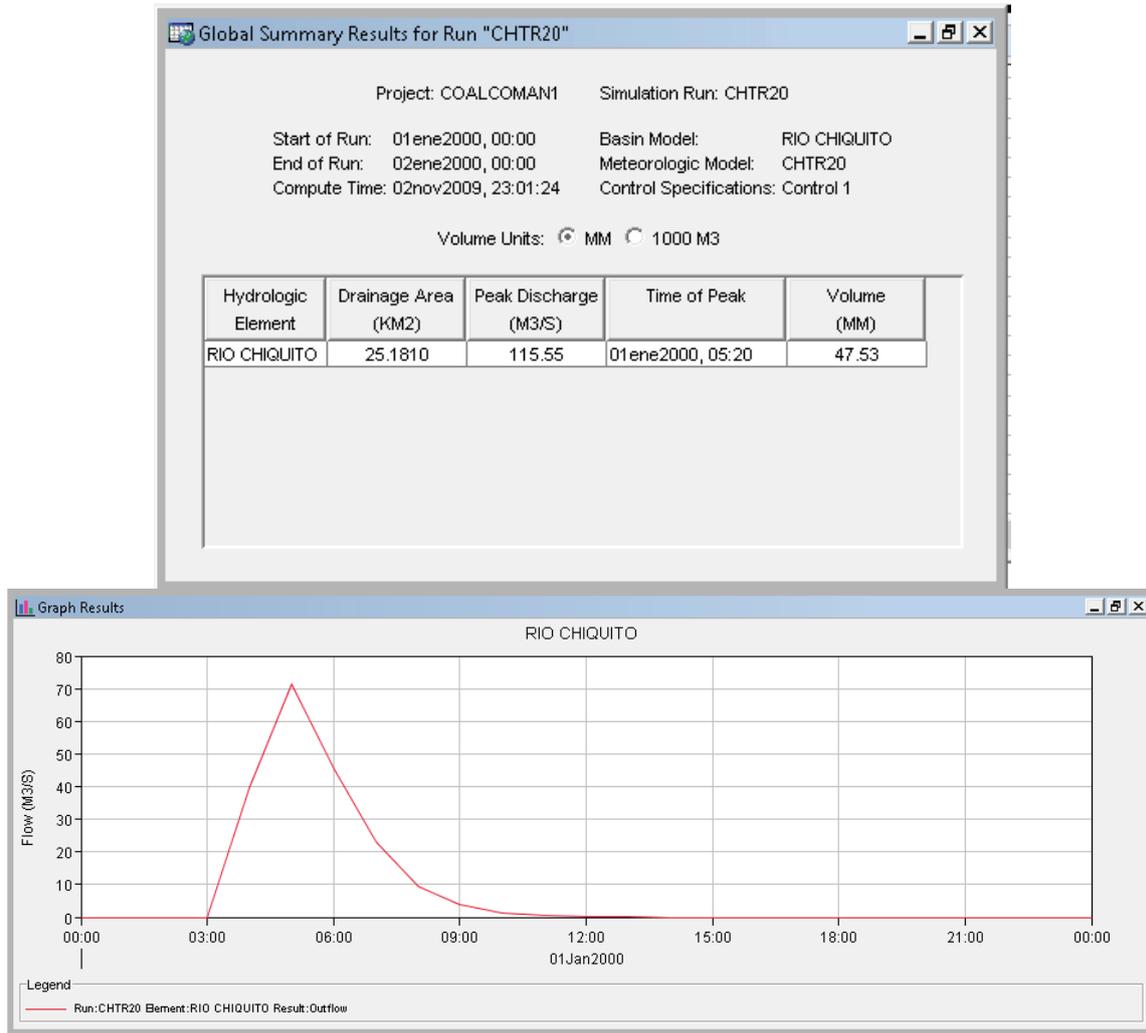


Figura 5.259, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 20 años de la Cuenca Rio Chiquito.

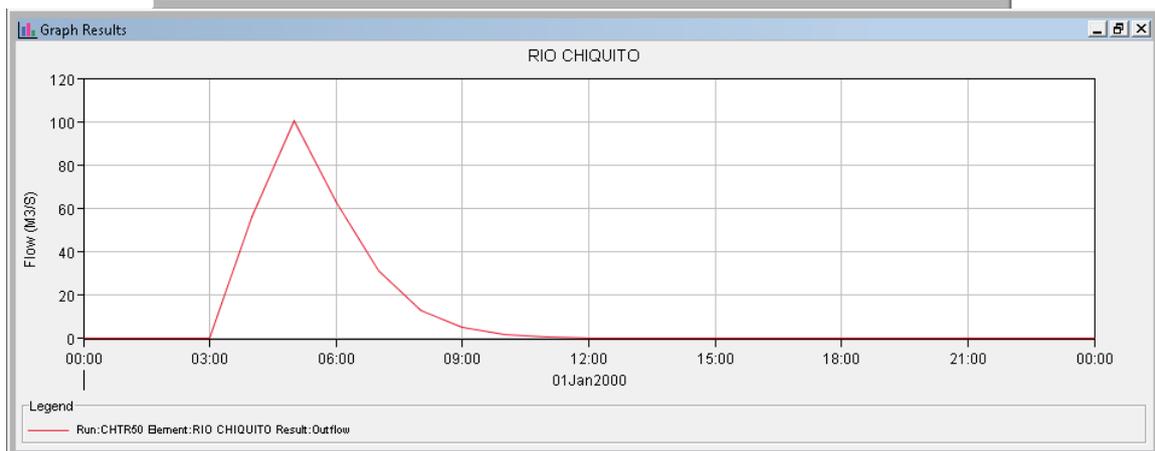
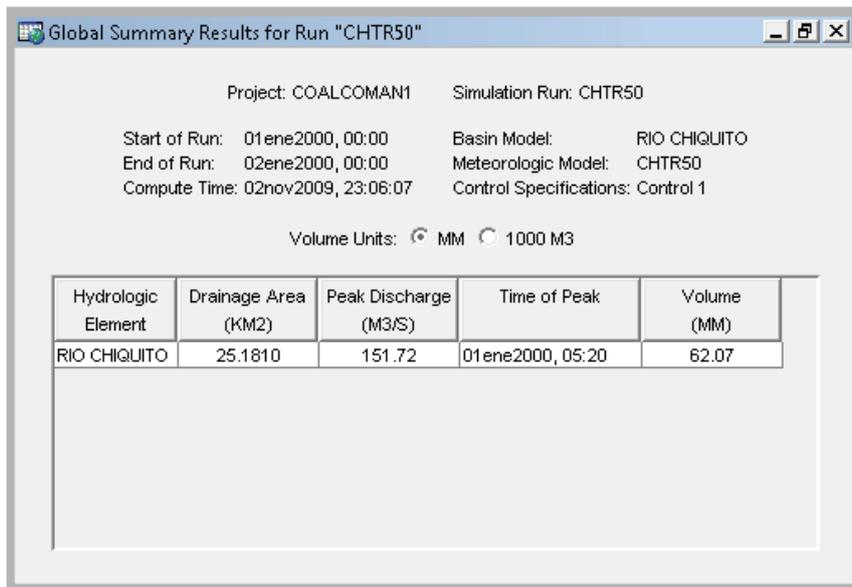


Figura 5.260, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 50 años de la Cuenca Rio Chiquito.

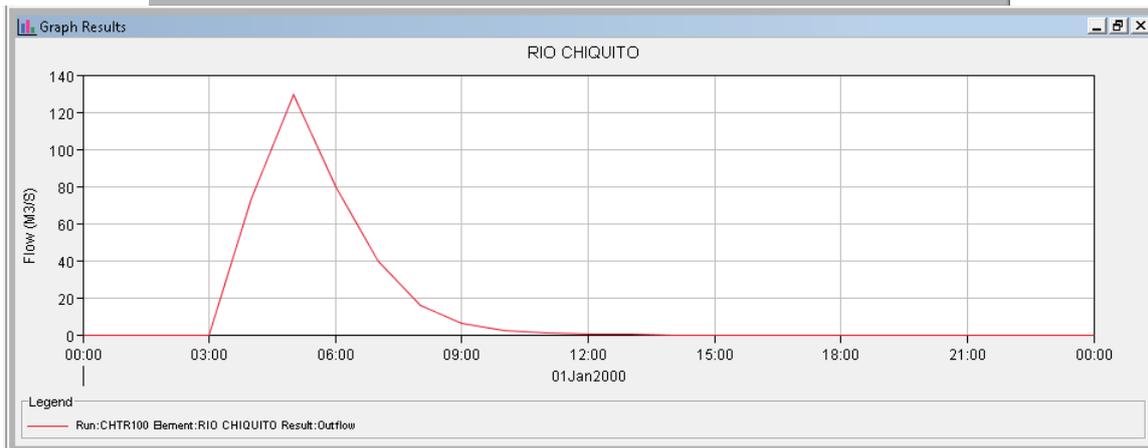
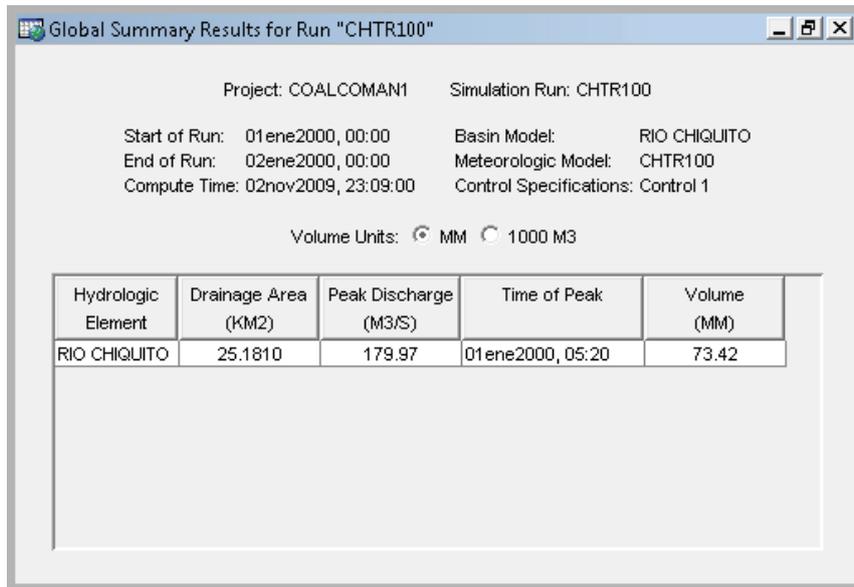


Figura 5.261, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 100 años de la Cuenca Rio Chiquito.

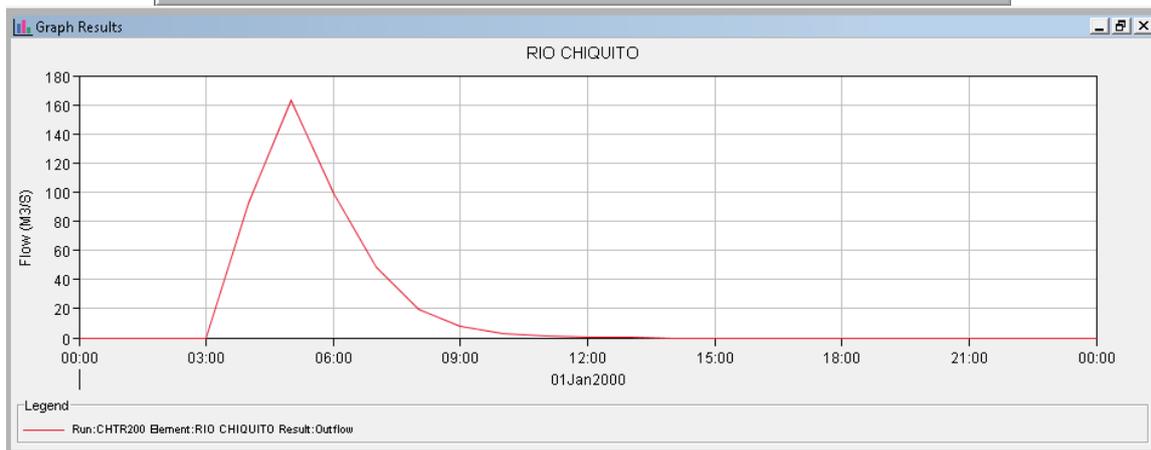
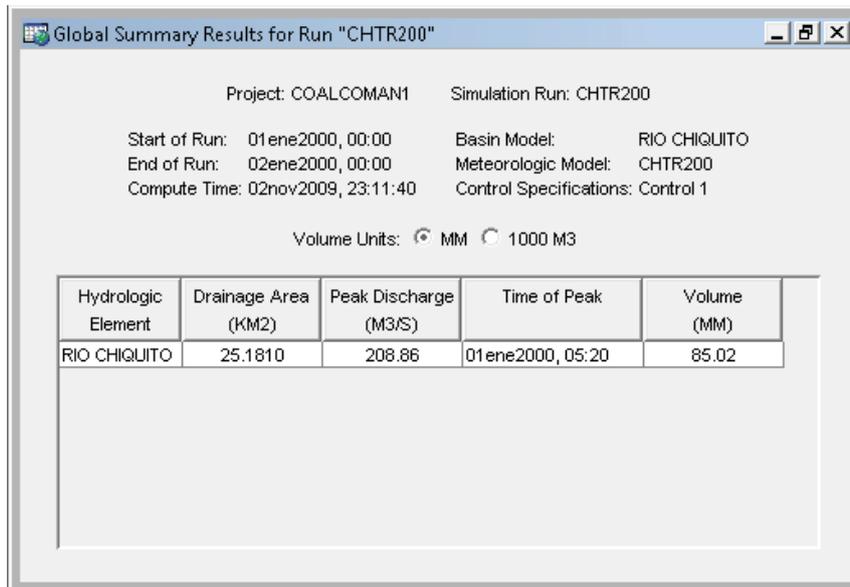


Figura 5.262, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 200 años de la Cuenca Rio Chiquito.

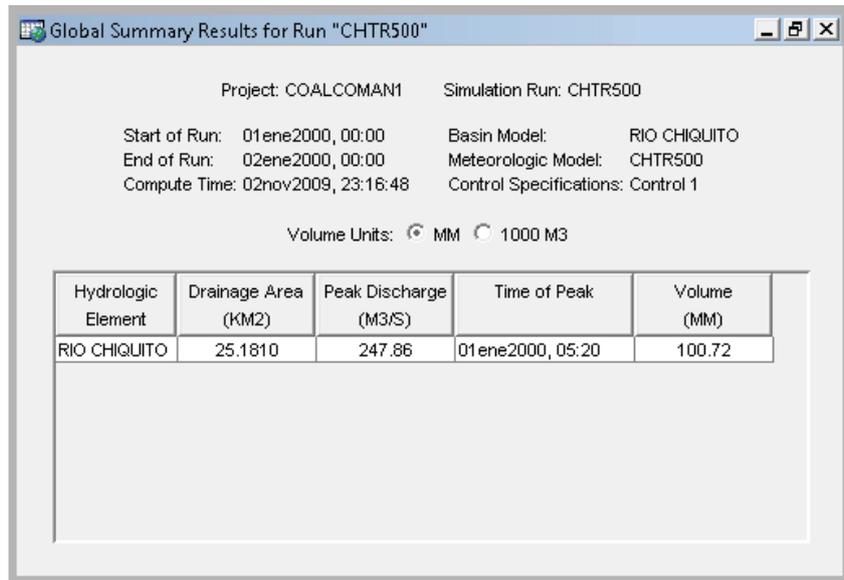


Figura 5.263, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 500 años de la Cuenca Rio Chiquito.

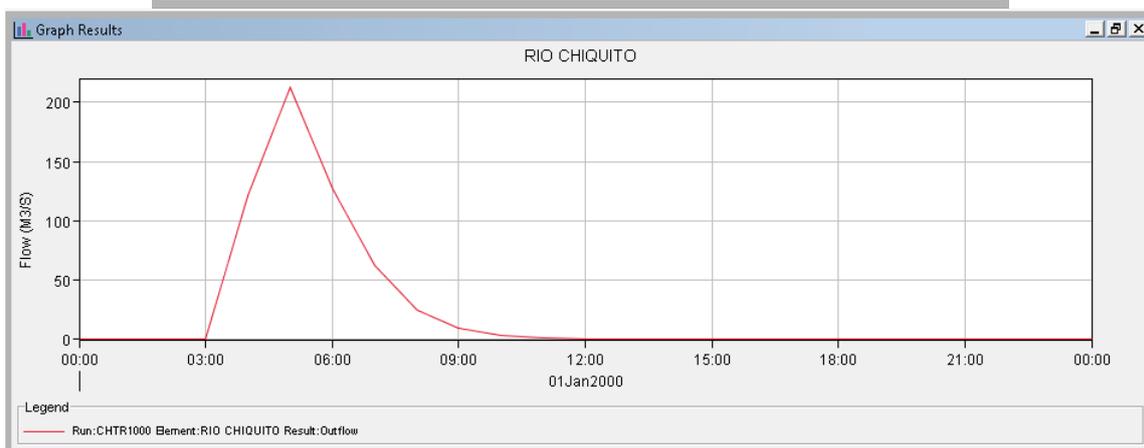
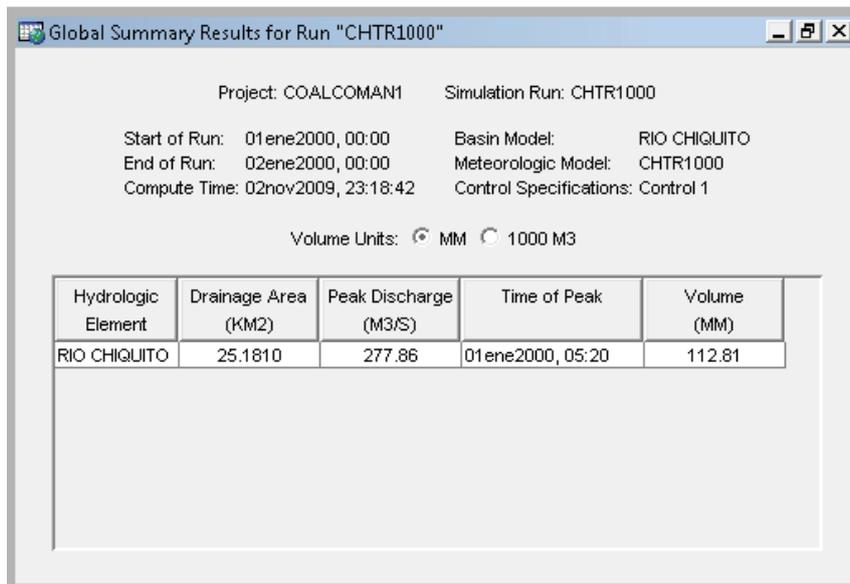


Figura 5.264, muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 1000 años de la Cuenca Rio Chiquito.

Los resultados de la Cuenca Rio Apamila para los tiempos de retorno TR20(figura 5.265), TR50 (Figura 5.266), TR100 (Figura 5.267), TR200 (Figura 5.268), TR500 (Figura 5.269) y TR1000 (Figura 5.270).

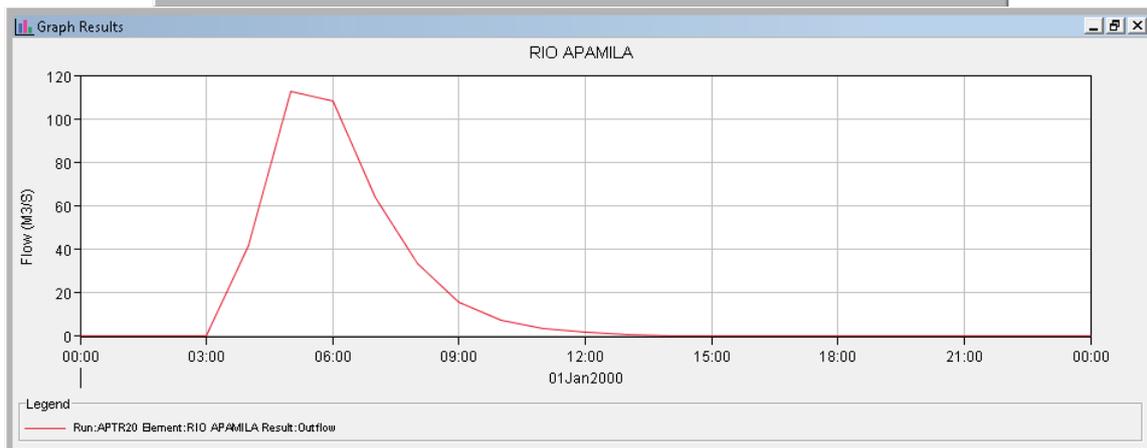
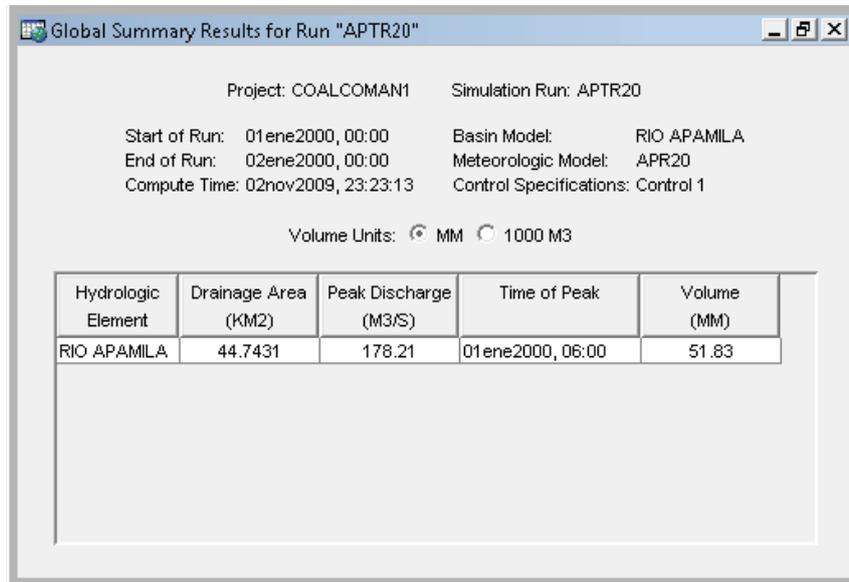


Figura 5.265, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 20 años de la Cuenca Rio Apamila.

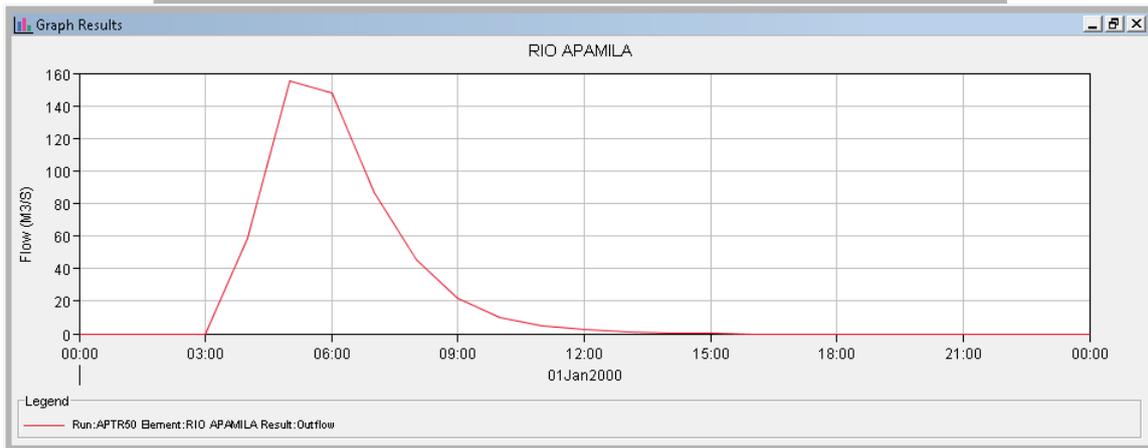
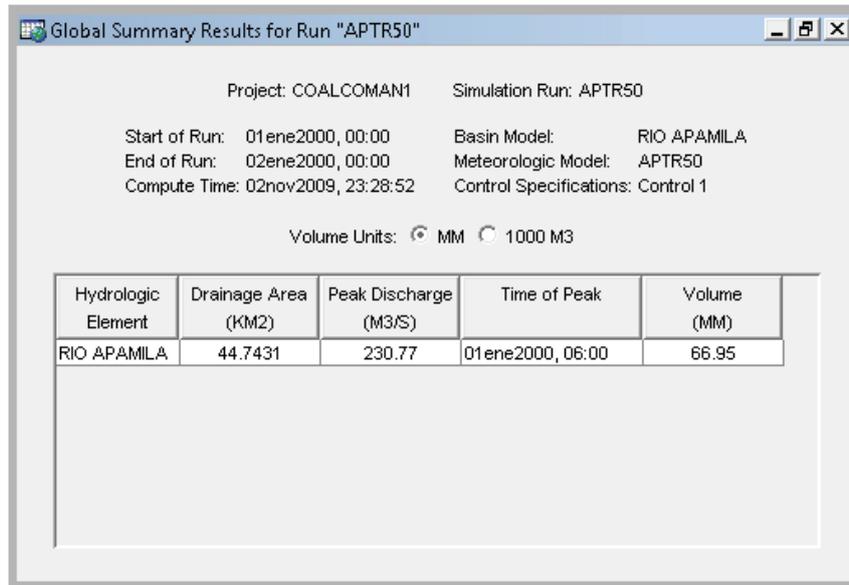


Figura 5.266, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 50 años de la Cuenca Rio Apamila.

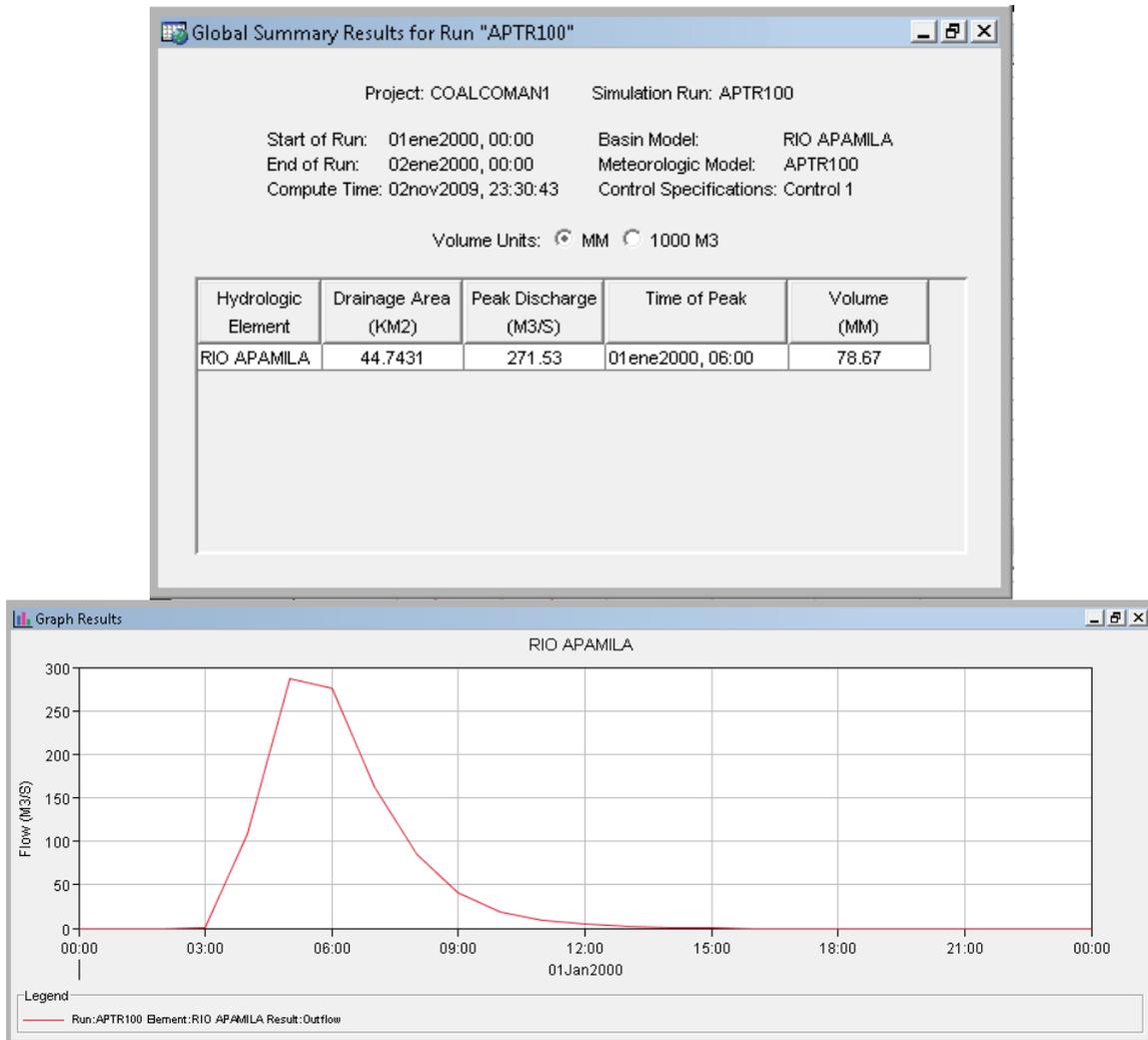


Figura 5.267, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 100 años de la Cuenca Rio Apamila.

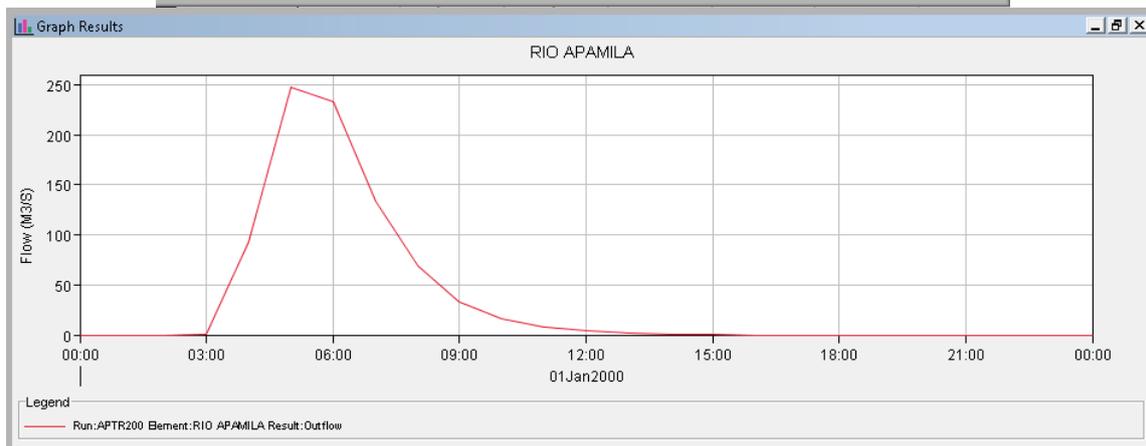
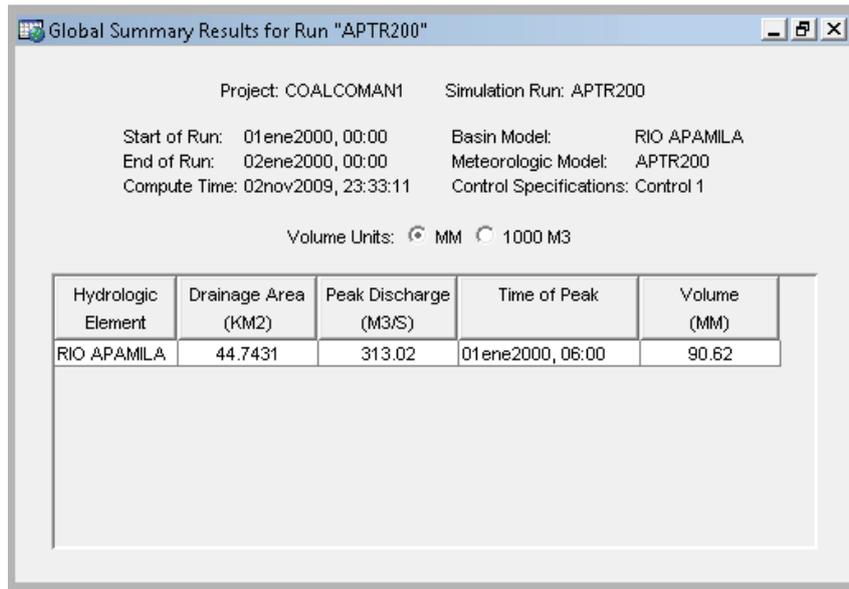


Figura 5.268, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 200 años de la Cuenca Rio Apamila.

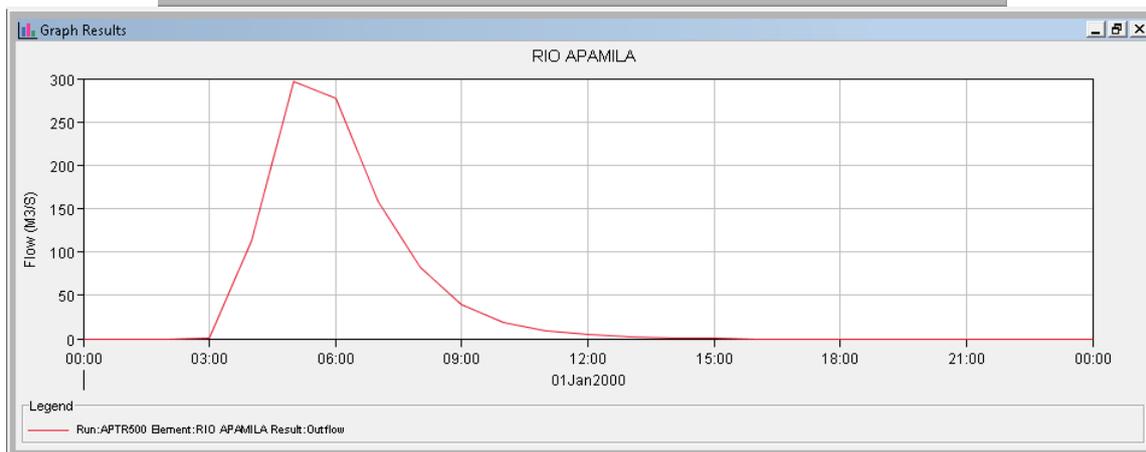
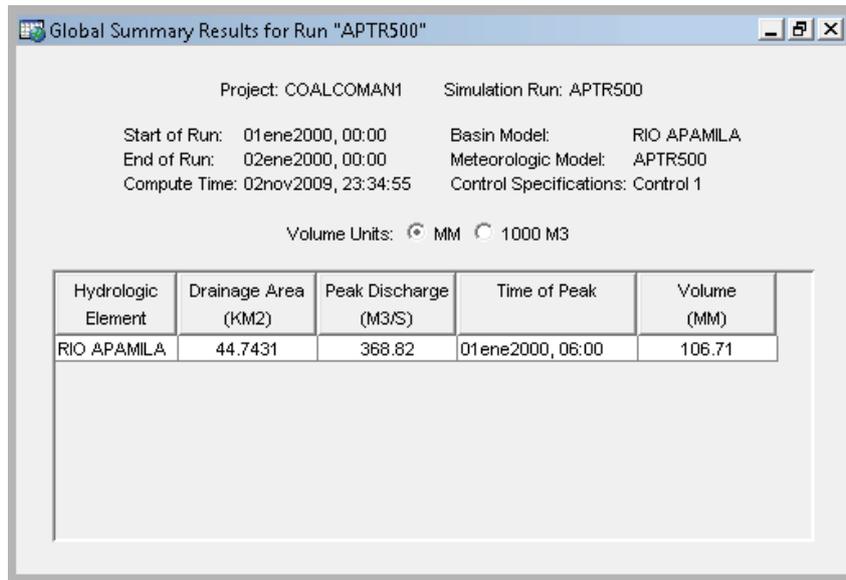


Figura 5.269, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 500 años de la Cuenca Rio Apamila.

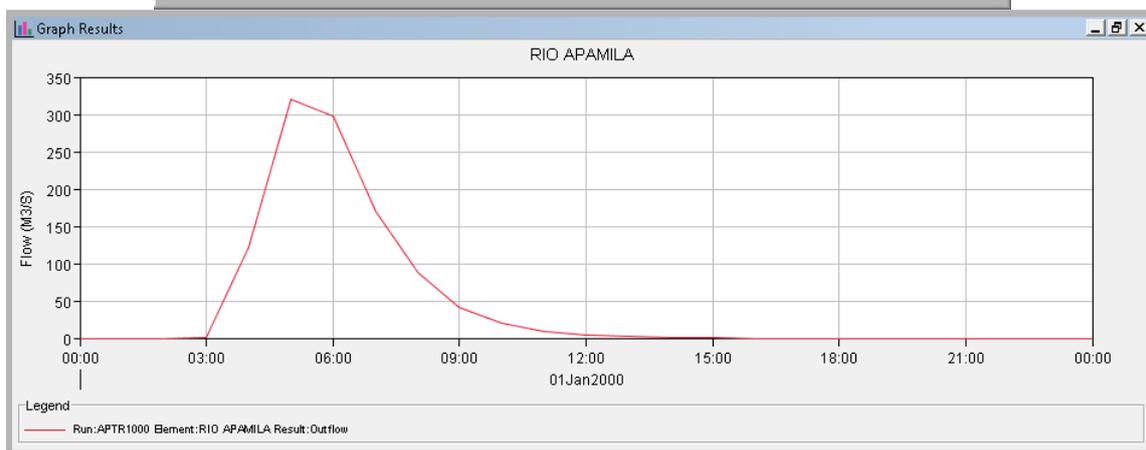
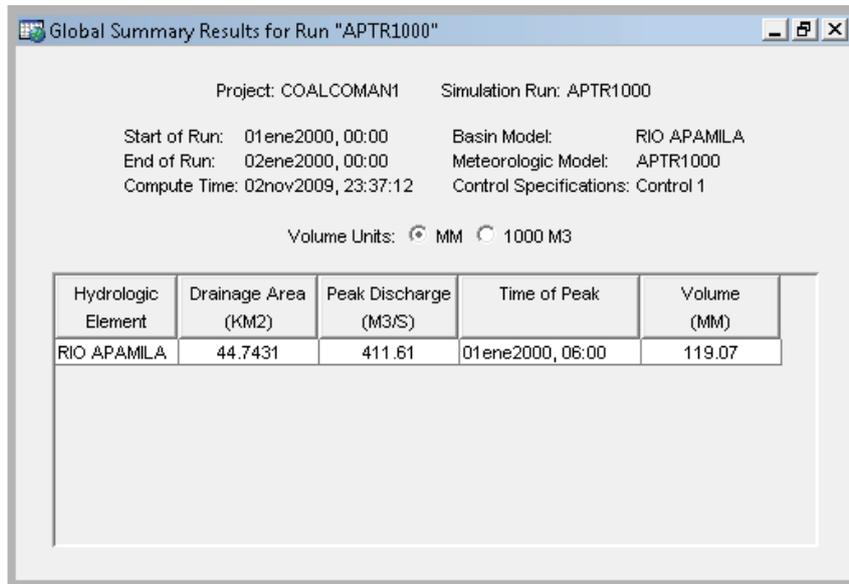


Figura 5.270, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 1000 años de la Cuenca Rio Apamila.

Los resultados de la Cuenca Arrollo las Animas para los tiempos de retorno TR20(figura 5.271), TR50 (Figura 5.272), TR100 (Figura 5.273), TR200 (Figura 5.274), TR500 (Figura 5.275) y TR1000 (Figura 5.276).

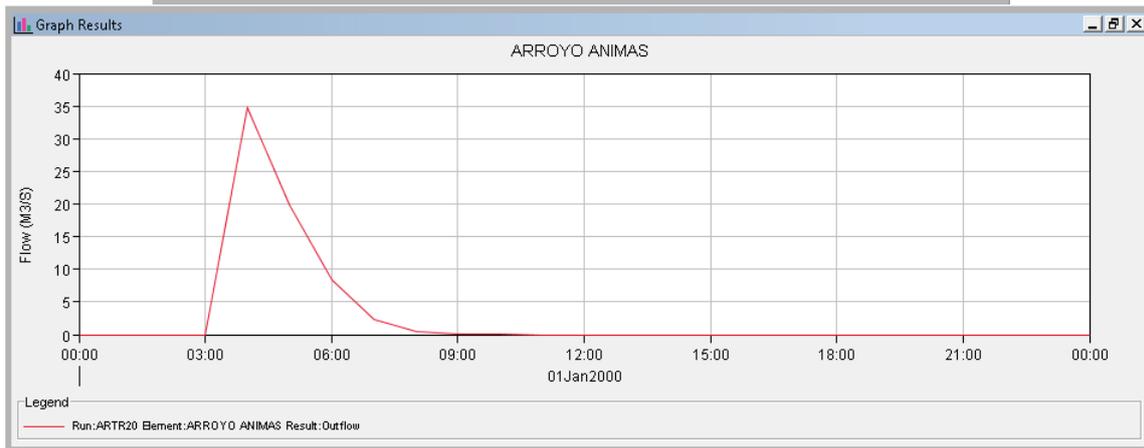
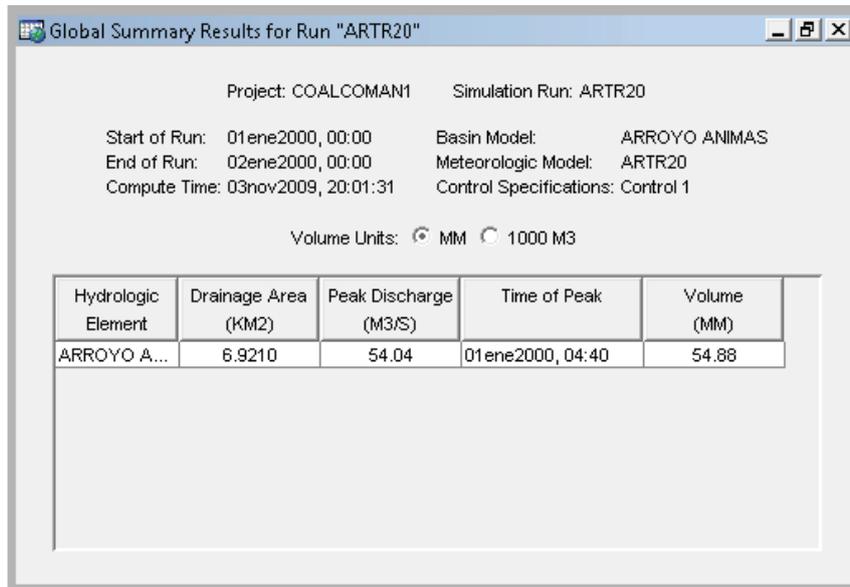


Figura 5.271, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 20 años de la Cuenca Arrollo las Ánimas.

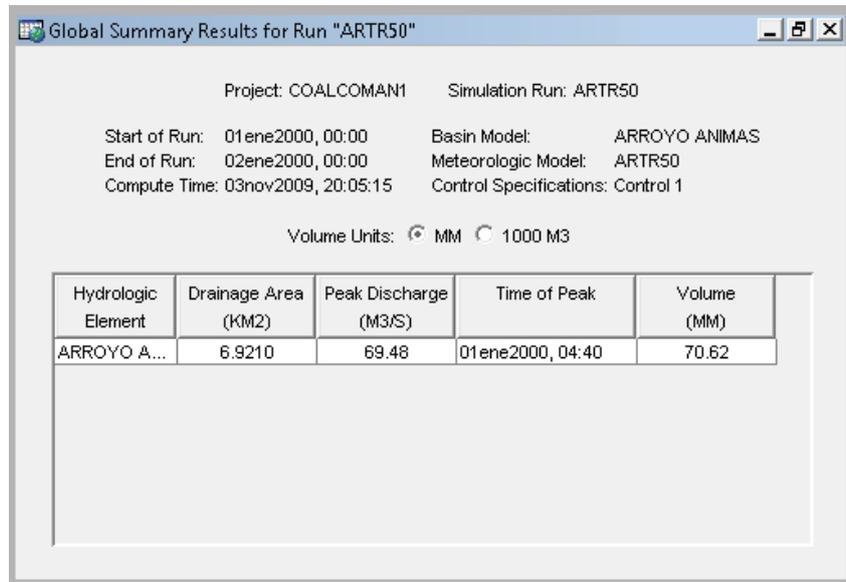


Figura 5.272, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 50 años de la Cuenca Arrollo las Ánimas.

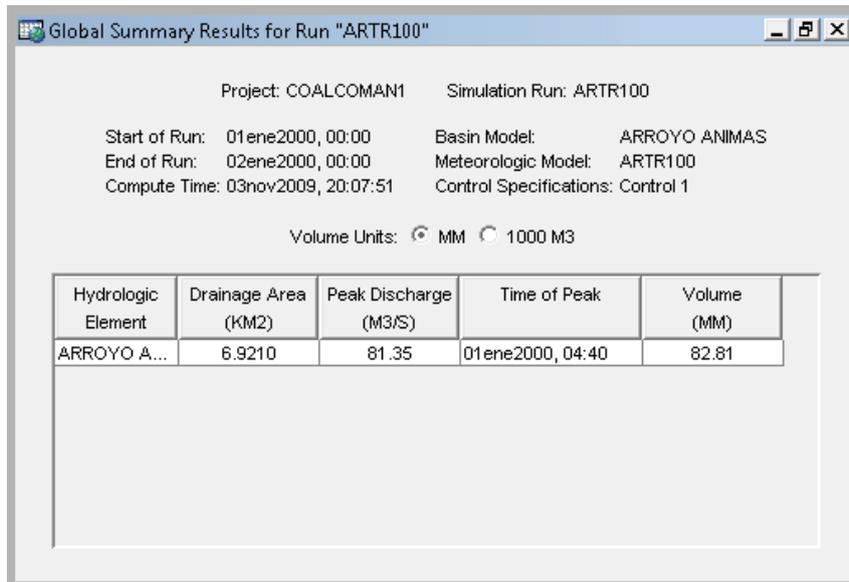


Figura 5.273, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 100 años de la Cuenca Arrollo las Ánimas.

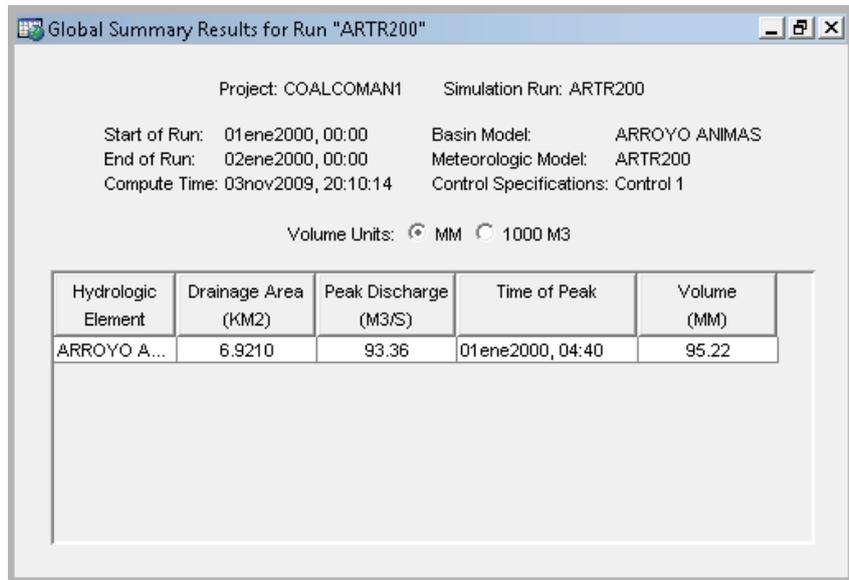


Figura 5.274, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 200 años de la Cuenca Arrollo las Ánimas.

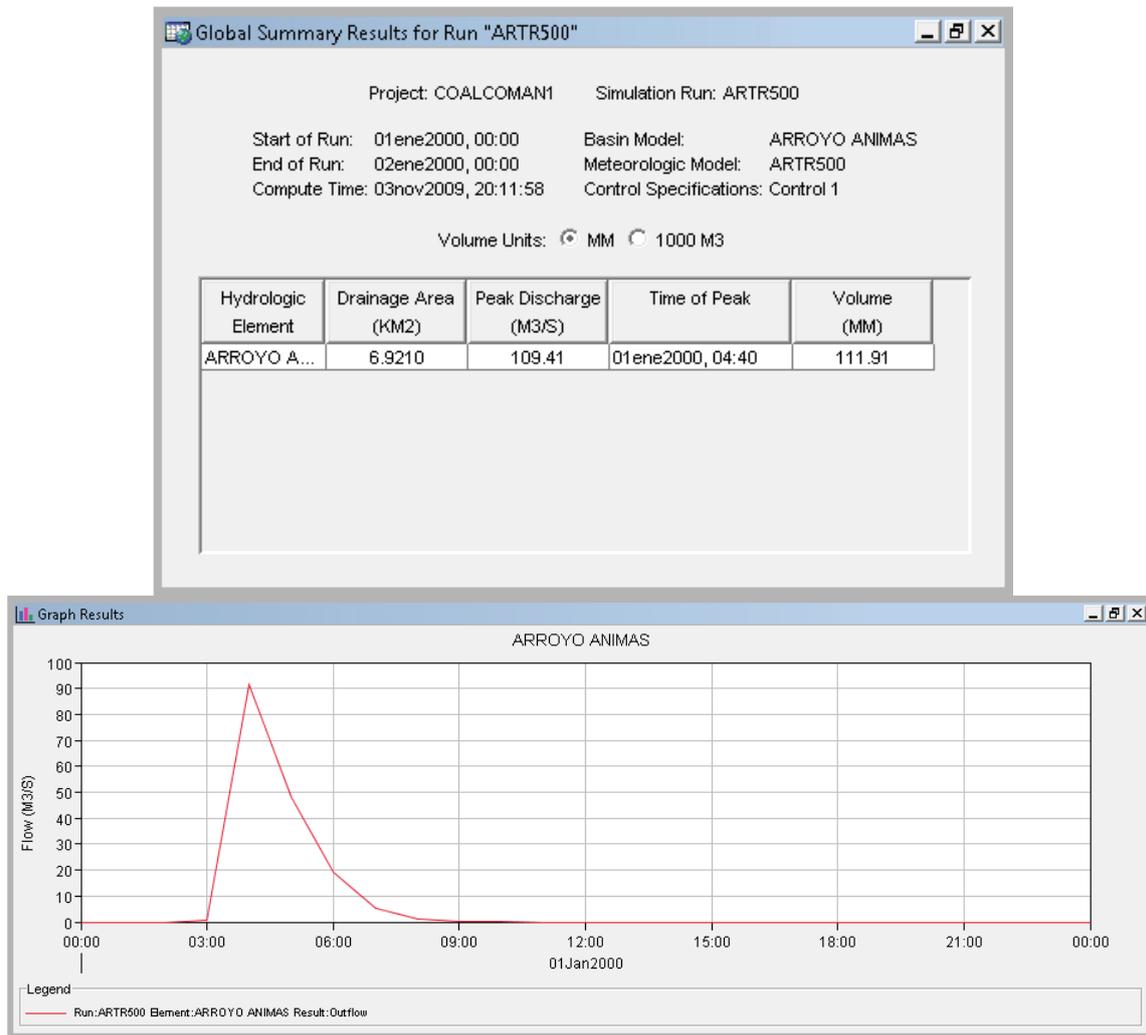


Figura 5.275, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 500 años de la Cuenca Arrollo las Ánimas.

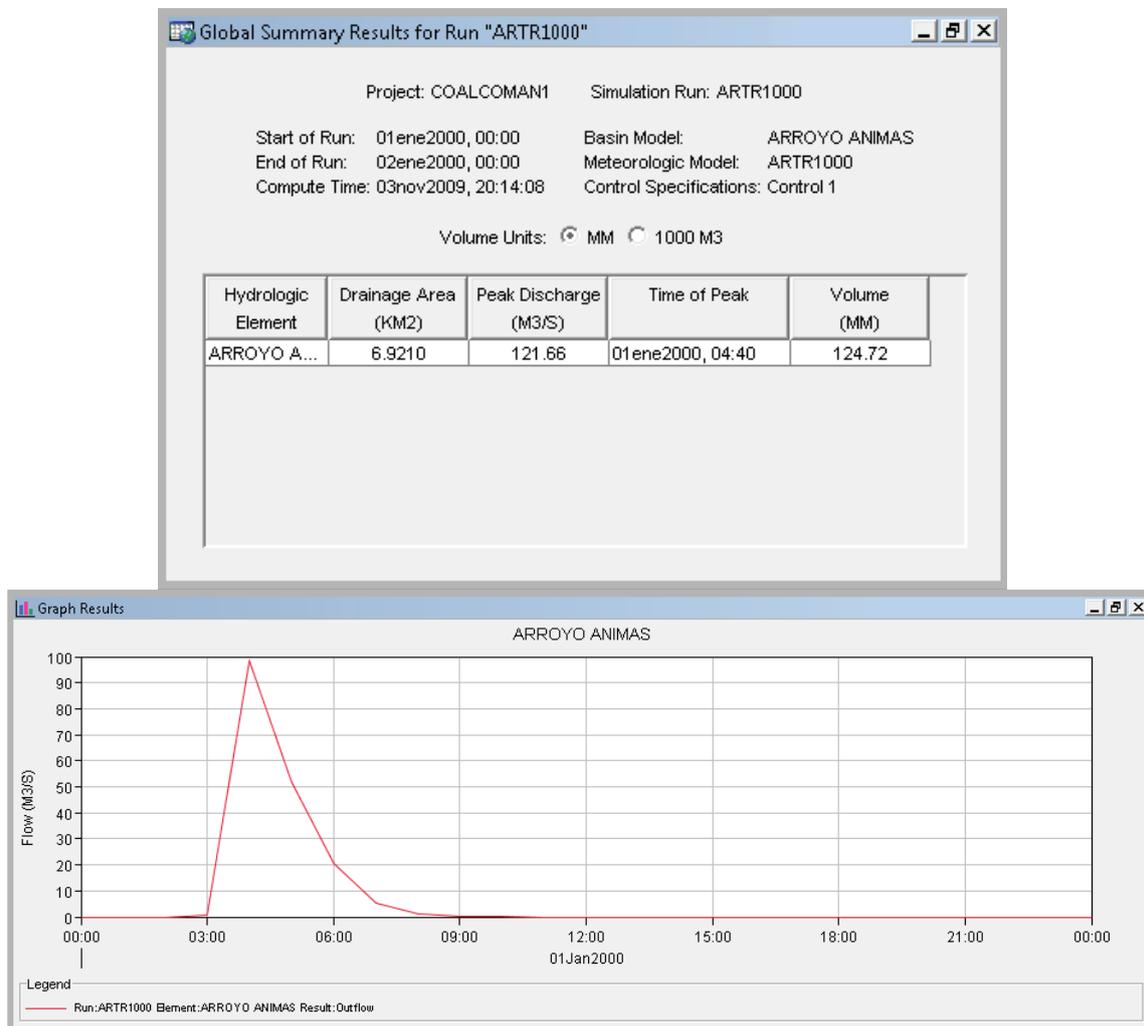


Figura 5.276, Muestra el gasto pico así como el hidrograma para el periodo de retorno de 1000 años de la Cuenca Arrollo las Ánimas.

Como se puede observar claramente con los anteriores resultados, los hidrogramas ajustan de una manera más precisa en las cuencas grandes que en las cuencas chicas, esto es fácilmente comprensible debido a que como bien se sabe el método del "Hidrograma Unitario Triangular" fue diseñado para trabajar con cuencas grandes.

Los métodos anteriormente descritos, indudablemente son una herramienta de gran apoyo para el desempeño laboral en la eficiencia y rendimiento en el campo de la hidrología.



CAPITULO VI

RESULTADOS



VI.1 BASES DE LA VALIDACION

En la actualidad, los Estudios Hidrológicos, en varios casos han sido elaborados utilizando métodos manuales, esto es debido a dos problemas básicos: o bien los técnicos que realizan los estudios no cuentan con acceso a un equipo informático, o bien, aún teniendo computadoras no saben usar o no se sienten cómodos usando un Sistema de Información Geográfica SIG. Así los resultados que se obtienen manualmente son considerados reales o cuando menos cercanos a la realidad. Debido a ello, se determinó que para validar los cálculos automatizados con procedimientos en un SIG son adecuados, se compararán los resultados de los cálculos realizados manualmente contra los cálculos automatizados en un SIG:

VI.2 SELECCIÓN DE CUENCAS

Se seleccionó como cuenca piloto la Cuenca del río Coalcomán y tributarios.

VI.3 CALCULO MANUAL Y AUTOMATIZADO CON PROCEDIMIENTO EN SIG

Para llevar a cabo el cálculo de las variables manualmente, se consiguió la carta topográfica escala 1:50,000 en formato digital del área que cubre la Cuenca de Coalcomán. Esta carta topográfica fue introducida en "AutoCad" donde se trazó manualmente el parteaguas de la Cuenca, fig. 6.1a.

Para el cálculo de procedimientos en SIG, se instaló el programa de "ArcView 3.2" con extensión "Hec-GeoHMS 1.1" entre otras, en el Modelo Digital de Elevaciones de la zona en estudio, se calcularon todas las características, fig.6.1b.



Figura 6.1a, Mapa trazado manualmente en

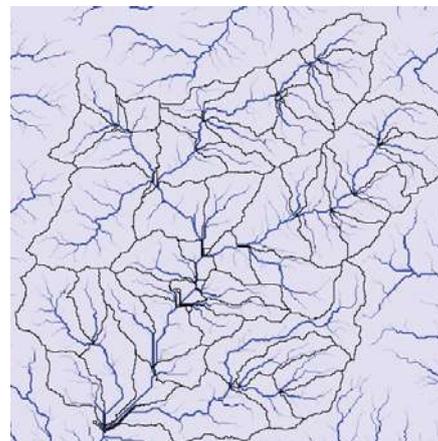


Figura 6.1b, Mapa obtenido con "ArcView."

“Autocad”.

Como puede verse, existe una importante correspondencia de las corrientes generadas con procedimientos en entorno del SIG.

En la tabla siguiente se muestran los resultados de las mediciones realizadas manualmente y con el SIG, tabla 6.1.

Sobre tal parteaguas se realizaron y determinaron los datos que requiere un Estudio Hidrológico, en entorno de “AutoCad”, estos son:

Área
Perímetro
Longitud del Cauce Principal
Pendiente Media del Cauce Principal
Elevación Media
Número de Esguerramiento, entre otros.

En la tabla siguiente se presenta un análisis comparativo de los resultados obtenidos con los procedimientos:

El Área presenta un porcentaje de variación del 0.5% al 15%. Siendo la cuenca más pequeña donde se presenta menos variación y la cuenca de Apamila donde sucede la más alta variación.

El intervalo del porcentaje de variación del perímetro es muy corto, va del 30% al 37%, indicando una variabilidad baja del perímetro, ya sea en cuencas grandes o pequeñas.

La longitud del cauce principal, para el análisis se descarta Las Animas, por considerar que no fue correctamente identificado el término de la corriente principal, observándose se tiene una variación del parámetro también cerrada, entre 11% y 17%.

La elevación media de la cuenca presenta una variabilidad del 11% al 28%. Presentando la más alta variabilidad el río Grande.

		Río Grande	Río Chiquito	Río Apamila	Arroyo las Animas
Area (Km2)	Medida	232.2243	25.1810	44.7431	6.9210
	Calculada	222.0600	26.2450	38.0525	6.9250
	Variación	10.1643	1.0640	6.6906	0.0040
	% variación	4.3769	4.2254	14.9533	0.0577
Perímetro (m)	Medida	81.7444	24.5720	33.2800	11.7185
	Calculada	112.0000	32.7000	45.2000	15.3000
	Variación	30.2556	8.1280	11.9200	3.5815

	% variación	37.0124	33.0783	35.8173	30.5627
Longitud cauce principal	Medida	36.3181	10.6925	16.5251	5.8076
	Calculada	31.8701	8.8833	18.3555	1.7406
	Variación	4.4437	1.8092	1.8304	4.0670
	% variación	12.2354	16.9202	11.0764	70.0289
Pendiente Media del cauce	Medida	0.011188112	0.018176739	0.019633806	0.04030397
	Calculada	0.16943	0.19058	0.18524	0.10448
	Variación	0.15824	0.17240	0.16560	0.06417
	% variación	1414.3752	948.4828	843.4747	159.2299
Elevación media	Medida	1,564	1,430	1,423	1,228
	Calculada	1,120	1,082	1,100	1,083
	Variación	444	348	323	145
	% variación	28.3887	24.3356	22.6985	11.8078

Tabla 6.1

Los parámetros anteriores se corresponden a los datos geomorfológicos. En la tabla siguiente se presentan los parámetros requeridos para un Estudio Hidrológico, tabla 6.2.

Uno de los parámetros mas importantes en el proceso lluvia escurrimiento es la determinación del numero de escurrimiento. La variabilidad del parámetro es poca, va de 4% al 9%, acercando bastante al obtenido por medio de "Autocad". Considerándose por tanto el método de obtención con "Arcview", bastante adecuado.

La precipitación media de la cuenca obtenida mediante "Polígonos de Thiessen" presenta una muy baja variabilidad los métodos, que van de 0.21% a 1%. Por lo que se acepta totalmente el procedimiento "Arcview".

La determinación de la precipitación media mediante "Isoyetas". También es bastante bueno. Excepto en la cuenca del rio Grande que presenta un valor muy alejado. La variación del método de "Isoyetas" va de 0.16% a 0.8%.

		Río grande	Río Chiquito	Río Apamila	Arroyo las Animas
Número de Escurrimiento	Medida	76.8629	74.7976	76.9717	77.1949
	Calculada	71.4300	70.2800	73.6200	69.9700
	Variación	5.4329	4.5176	3.3517	7.2249
	% variación	7.0682	6.0397	4.3544	9.3592
Precipitación Media de la Cuenca (P. de	Medida	862.7910	833.3000	935.4580	833.3000
	Calculada	864.6750	838.2700	944.9776	838.2700
	Variación	1.8840	4.9700	10.5190	4.9700

Thiessen)	% variación	0.2183	0.5964	1.1244	0.5964
Precipitación	Medida	918.3520	938.2650	958.3710	950.6760
Media de la	Calculada	1175.0000	932.3750	959.9340	942.5300
Cuenca	Variación	256.6480	5.8900	1.5630	8.1460
(Isoyetas)	% variación	27.9465	0.6277	0.1630	0.8568

Tabla 6.2.

Luego de determinados los parámetros necesarios para el desarrollo del proceso lluvia escurrimiento, se procedió a obtener el hidrograma de salida, mediante el método del hidrograma unitario triangular (HUT). Este se realizo en Excel y en HEC-HMS, tabla 6.3.

El rio Grande presenta una variabilidad que va de 0.18% al 7%, no considerando el gasto para un periodo de retorno de 20 años. Se aprecia que dan valores aceptables los resultados de HEC-HMS.

En el caso del rio Chiquito, Apamila y Animas presentan una variabilidad del 4% al 8%, no considerando gastos para periodo de retorno de 20 años.

GASTO MAXIMO (HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR)

RIO GRANDE AÑOS

	Tr20	Tr50	Tr100	Tr200	Tr500	Tr1000
Calculado "AutoCad"	65.5500	408.2960	523.9130	654.8750	786.6170	790.2630
Calculado "Hec-HMS"	293.9100	409.0400	524.4800	655.1200	786.4500	849.0000
Variación	228.3600	0.7440	0.5670	0.2450	0.1670	58.7370
% variación	348.3752	0.1822	0.1082	0.0374	0.0212	7.4325

RIO CHIQUITO AÑOS

	Tr20	Tr50	Tr100	Tr200	Tr500	Tr1000
Calculado "AutoCad"	23.5750	104.8140	135.6110	170.6830	206.0850	223.0100
Calculado "Hec-HMS"	71.3600	100.3100	129.5100	162.7000	196.1800	212.1600
Variación	47.7850	4.5040	6.1010	7.9830	9.9050	10.8500
% variación	202.69350	4.2971	4.4988	4.6770	4.8062	4.8652

RIO APAMILA
AÑOS

	Tr20	Tr50	Tr100	Tr200	Tr500	Tr1000
Calculado "AutoCad"	122.6390	219.1970	216.0420	269.4160	322.5570	347.8420
Calculado "Hec-HMS"	112.2700	155.4600	286.3800	247.5100	296.5100	319.8000
Variación	10.3690	63.7370	70.3380	21.9060	26.0470	28.0420
% variación	8.4548	29.0774	32.5575	8.1309	8.0751	8.0617

ARROYO LAS ÁNIMAS
AÑOS

	Tr20	Tr50	Tr100	Tr200	Tr500	Tr1000
Calculado "AutoCad"	36.9790	51.1840	65.4040	81.4600	97.5810	105.2520
Calculado "Hec-HMS"	34.7300	48.1000	61.4600	76.4800	91.4600	98.5600
Variación	2.2490	3.0840	3.9440	4.9800	6.1210	6.6920
% variación	6.0818	6.0253	6.0302	6.1134	6.2727	6.3580

Tabla, 6.3.

En la actualidad los estudios de hidrología son elaborados en gran parte, utilizando procedimientos manuales, esto es debido a dos problemas básicos, no se cuenta con equipo informático, o bien, aun teniendo computadoras no saben usar o no se sienten cómodos usando sistemas de información geográfica (SIG)

Así los resultados que se obtienen mediante procedimientos manuales son considerados reales o cuando menos cercanos a la realidad. Debido a ello, se determinó que, para validar que los cálculos obtenidos mediante procedimientos en el marco de un SIG (procedimiento semi automatizado) sean aceptables, se comparan los resultados de los cálculos realizados manualmente contra los cálculos de un SIG.

Aquí lo recomendable hubiese sido, trabajar en diferentes cuencas, pero para el presente trabajo se escogió una cuenca a la cual se desarrollo todo el estudio de hidrología de máximos.



CAPITULO VII

CONCLUSIONES



Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son herramientas de software que pueden ayudar enormemente a la elaboración de los Estudios Hidrológicos. Sin embargo, el uso de SIG está muy restringido todavía en la actualidad a grupos académicos o a asesores especializados, así como a un grupo de usuarios que, aunque está creciendo, todavía es muy reducido en comparación con el resto de gente que utiliza computadoras.

Con este trabajo se trata de cerrar la brecha de los SIG y los usuarios finales en el área de hidrología.

Los técnicos encargados de realizar los Estudios Hidrológicos, comúnmente utilizan los SIG. Por otra parte, los Sistemas de Información Geográfica tienen potencialidades que el usuario común normalmente no explota. Con el desarrollo de los PROCEDIMIENTOS, se pretende apoyar a quien tenga como función la elaboración de los estudios hidrológicos, al facilitar el diagnóstico hidrológico de la(s) cuenca(s). Para ello se han descrito una serie de procedimientos o rutinas que calculan parámetros asociados a las cuencas y que las caracterizan.

Aunque los PROCEDIMIENTOS están enfocados a resolver específicamente los requerimientos establecidos en la guía para la elaboración de los estudios hidrológicos, nada impide que los resultados arrojados por sean utilizados fuera del ámbito de los estudios hidrológicos, de tal suerte que se convierta en una herramienta útil para todos aquellos involucrados en la modelación hidrológica de cuencas. El desarrollo de los PROCEDIMIENTOS se realizó dentro del ambiente de ArcView, uno de los SIG más difundidos en el mundo entero.

En este caso, el modelo de elevación digital del terreno puede no ser lo suficiente fino para resolver adecuadamente la trayectoria de la red de drenaje. Por lo que se pueden crear “corrientes virtuales”, esto es, corrientes que el algoritmo genera basado en la información del modelo de elevación, pero que en realidad, no están bien conformadas. En esta situación, se debería conseguir un MDE con mayor detalle, esto es, con un tamaño de celda menor, que represente más precisamente el terreno, o bien, hacer un tratamiento previo al modelo de elevación, este tratamiento se conoce como quemado, grabado o profundizado del MDE. Usando una de las dos (o posiblemente las dos), opciones anteriores, el algoritmo estaría en condiciones de representar adecuadamente la red de drenaje y, por lo tanto, obtener valores más reales para los parámetros.

En ocasiones, la red hidrográfica que presentan las cartas de INEGI no está conectada formando una red. Existen algunas “corrientes que desaparecen” como lo señala INEGI, de tal suerte que no llegan a conectarse superficialmente a una corriente. Para este caso, se recomienda tratar de generar la red hidrológica manualmente, usando para ello las curvas de nivel.

Así mismo, El trabajar la hidrología en Sistemas de Información permite la generación de mapas temáticos diversos en muy corto tiempo.



BIBLIOGRAFIA



ArcView 3.2 Enviromental System Research Institute, inc.

Campos Aranda, Daniel Fco. 1998. Procesos del ciclo hidrológico. Tercera reimpresión. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México.

Esri, 1996. Using ArcView GIS. Enviromental System Research Institute, inc. Redlands CA, USA.

INEGI, 2005 Guía para la Interpretación de cartografía. Topografía. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.

HEC-GeoHMS, US Army Corps of Engineering, Davis CA, USA.

Aparicio Mijares, Francisco Javier; Fundamentos de Hidrología Superficial. Limusa. México, 2001.

CLICOM, (2005). Climating Computing Program, Base de Datos Meteorológicos, Servicio Meteorológico Nacional, México.

Modelación hidráulica del sistema fluvial del municipio de Coalcomán Michoacán, Marcelino Díaz Cárdenas.

Diseño de estructuras de protección contra inundaciones del sistema fluvial del Municipio de Coalcomán Michoacán, Gonzalo Antonio Cortés Cenicerros.

Modelación hidrológica Cuasi-Distribuida para su aplicación a las condiciones Mexicanas, Alejandro Soto castro.