

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



CUERPO ACADÉMICO GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA

**ESTA TESIS FUE APOYADA POR EL CONSEJO ESTATAL
DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (COECYT)**

**ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA LA PASTORÍA,
MICHOACÁN, REGIÓN TIERRA CALIENTE.**

TESIS

PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

ESTANISLAO SOTO ANDRADE

ASESOR DE TESIS:

DR. CONSTANTINO DOMÍNGUEZ SÁNCHEZ

MORELIA, MICHOACÁN, AGOSTO 2011

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	6
2.	OBJETIVOS	8
3.	ANTECEDENTES	9
4.	CONDICIONES NATURALES DE LA CUENCA	15
4.1.	LOCALIZACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA	15
4.2.	HIDROGRAFÍA	16
4.3.	FISIOGRAFÍA	18
4.4.	OROGRAFÍA	18
4.5.	GEOLOGÍA	19
5.	INFORMACIÓN DISPONIBLE	19
5.1.	INFORMACIÓN METEOROLÓGICA	19
5.2.	INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA	22
5.3.	INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA	24
5.4.	INFORMACIÓN DEL USO DE SUELO	26
5.5.	INFORMACIÓN EDAFOLÓGICA	29
6.	METODOLOGÍA	30
6.1.	PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ESCURRIMIENTO EN VARIAS CUENCAS	35
6.2.	CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	46
6.3.	PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE NATURAL	46
6.4.	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (T_c)	47
6.5.	TIEMPO DE RETRASO (T_r)	47
6.6.	AJUSTES DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN	48
6.7.	GENERALIDADES DE LOS CUADROS ESQUEMÁTICOS	48
6.7.1.	LLENADO 1	48
6.7.2.	PARÁMETRO R CALCULADO	49
6.7.3.	ID T_r DETERMINADO CON REGRESIÓN LINEAL	51
6.7.4.	PARÁMETRO R DETERMINADO POR MAPAS	52
6.7.5.	LLENADO 2	58
6.7.6.	ID T_r DETERMINADO CON CHEN	59
6.7.7.	MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN	60
6.7.8.	MÉTODO RACIONAL	61
6.7.9.	MÉTODO POR LA FÓRMULA DE CREAGER	61
6.7.10.	MÉTODO POR LA FÓRMULA DE LOWRY	62
6.7.11.	MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR	62
6.7.12.	MÉTODO DE CHOW	63
6.8.	Cálculo del gasto pico por medio de una estación hidrométrica	64
6.9.	Cálculo del volumen de escurrimiento	65
6.10.	ESQUEMAS	65
6.10.1.	CUENCA PASTORÍA SIN SUBCUENCAS	65
6.10.2.	CUENCA PASTORÍA CON SUBCUENCAS	66
6.10.3.	VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO	67
6.11.	Simulación en HEC HMS de varias cuencas	75
7.	RESULTADOS	82
7.1.	CARACTERÍSTICAS COMPLEMENTARIAS	82
7.2.	ESTACIONES METEOROLÓGICAS	84
7.3.	CÁLCULO DE LA LLUVIA MEDIA	85
7.3.1.	POLÍGONOS DE THIESSEN	85

7.3.2.	ISOYETAS	87
7.4.	Número de escurrimiento.	90
7.5.	Parámetro K	93
7.6.	Tiempo de concentración (Tc)	95
7.7.	Tiempo de retraso (Tr)	95
7.8.	Parámetro R calculado	96
7.9.	Parámetro R por medio de mapas	97
7.10.	CÁLCULO DEL GASTO MÁXIMO A PARTIR DE LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA.	97
7.11.	ESQUEMAS	102
7.11.1.	Cuenca Pastoría sin subcuencas	102
7.11.2.	Análisis de la cuenca Pastoría sin subcuencas.	111
7.11.3.	Cuenca Pastoría con subcuencas	121
7.11.4.	Análisis de la cuenca Pastoría con subcuencas.	127
7.11.5.	Volumen de escurrimiento	132
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	141
8.1.	CONCLUSIONES	141
8.2.	RECOMENDACIONES.	143

DEDICATORIA

La dedico a lo más grande que puede tener una persona, a lo único que jamás nos abandonaría, a lo que nos mantiene de pie en los momentos más difíciles y es motivo de inspiración en cualquier circunstancia, la familia.

La paciencia y el amor reflejado en mi madre, el carácter y el no dejarse vencer reflejado en mi padre, el entusiasmo y esperanza reflejado en mis hermanos, y la inocencia que es el algo de lo más hermoso que pueda existir en el mundo, reflejado en mis sobrinos.

También la dedico a las personas negativas, a las personas que no desean que los demás se superen, que disfrutan con las caídas de los demás y con ello se sienten superiores, gracias a ellas los golpes son duros, duelen y te hacen sentir fracasado y olvidado, y el levantarse es un proceso lento y en ocasiones de vergüenza, porque gracias a esto uno se prueba así mismo, se levanta en contra de todo pronóstico, se enseña hacer humilde y ayudar sin ningún interés, se aprende a reconocer a las personas que siempre estarán con uno y se aprende a olvidar y perdonar a las que nunca lo estarán.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Dra. Sonia Tatiana Sánchez Quispe, por su paciencia y constante apoyo en explicarme diversos temas, así como al Dr. Constantino Domínguez Sánchez, por permitirme el aplicar y reafirmar ciertos conocimientos adquiridos.

Agradezco a mis amigos el grupo de los SODIAC, que jamás nos hemos dejado abajo, así como a las personas que conocí en servicio social que eran sólo unos compañeros y ahora son amigos, Piña, Octavio, Darinel, Emeterio, Abraham, Rigo, David, Jafet, Arregui, Julio, Pache, Soto, así como a mis amigos de la facultad que son bastantes y gracias a su apoyo he seguido adelante.

Sin duda alguna de los organismos públicos a los que agradezco por su apoyo económico es al **CONCEJO ESTATAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (COECYT)**.

También agradezco a la **COMISIÓN PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL DE LA TIERRA CALIENTE** por permitirme ser parte de este proyecto.

Por último, pero no menos importante a mis amigos que viven y algunos otros que han vivido con migo, los cuales los considero como parte de mi familia.

Sólo me queda decir por las noches enteras sin dormir, por los días en los cuales sólo se conoce el café y la comida chatarra porque no existe el tiempo para algo mejor

¡Gracias Facultad de Ingeniería Civil!

1. INTRODUCCIÓN

La determinación de una hidrología es de vital importancia en la generación de proyectos hidráulicos como son almacenes, embalses, obras de protección, puentes, alcantarillas, entre otros, una buena hidrología permite el no sobre diseñar estructuras, ya que cualquier estructura se rige por efecto beneficio-costos, el problema de un sobre diseño rige principalmente en este aspecto, no obstante el sobre diseño permite tener una seguridad con respecto a la obra, teniendo la seguridad de que no va a colapsar en los momentos críticos, es decir cuando se tenga un periodo de retorno máximo se tiene la tranquilidad de la correcta funcionalidad, sin embargo cuando el sobre diseño es elevado la obra no es factible en su construcción.

El problema general de una hidrología cuando se trabaja en cuencas grandes, consiste en que la cantidad de corrientes que integran a dicha cuenca son muy elevadas, y en ocasiones se tienen diversos ríos perenes que conforman a la corriente principal en forma de bifurcación, no tomar en consideración este factor reduce o incrementa los tiempos de concentración en una cuenca, tampoco se toma en consideración los diferentes parámetros como es el número de escurrimiento y el parámetro K, los cuales representan el uso de suelo, el tipo de suelo y la pendiente del terreno, al no tomar en consideración la distribución de precipitaciones en toda la cuenca, se genera una acción genérica, es decir, la cuenca actúa con una misma precipitación en toda su extensión.

El análisis de los factores mencionados se hacen presente al momento de tener necesidad de analizar una cuenca por subcuencas, haciendo tedioso los procedimientos de obtención de los factores que permitan la determinación de los gastos, en esta tesis se hace mención de un procedimiento alternativo para la generación de estos factores.

Se analizan diferentes esquemas de la determinación de gastos, principalmente por el método del Hidrograma Unitario Triangular, aplicando diferentes procedimientos para la determinación del método, en la cuenca Pastoría, los esquemas consisten principalmente en la generación de subcuencas a partir de la cuenca, así como la alteración del parámetro R y la determinación de las IDTR.

Otro de los grandes problemas que se tiene al momento de realizar una hidrología, es la falta de información de precipitaciones, se presentan 2 diferentes métodos para determinar las precipitaciones máximas, uno de estos métodos es en base a la determinación o a la selección de una estación base, en cuanto al otro método, es la generación de una estación ficticia al centro de gravedad de la cuenca en estudio o subcuenca.

Los volúmenes de escurrimiento de una cuenca también han generado una gran problemática en cuanto a su determinación, ya que un mal cálculo de dichos

volúmenes puede reducir o incrementar el volumen de agua para la disponibilidad, dando falsas expectativas o quitándolas.

Por lo general en el cálculo de volumen de escurrimiento, los volúmenes obtenidos son menores a los reales, se desarrollan tres diferentes procedimientos para la determinación de estos volúmenes.

Tanto para la obtención de gastos como para el volumen de escurrimiento, se realiza una comparativa con valores obtenidos a partir de una estación hidrométrica, existente aguas abajo del punto de salida de la cuenca en estudio.

2. OBJETIVOS

- Encontrar un procedimiento para la determinación de ciertos parámetros como el número de escurrimiento, el parámetro K, la precipitación media anual o todos aquellos parámetros donde el procedimiento es repetitivo, el procedimiento es de una forma masiva por medio de mapas en ArcView.
- Determinar el gasto máximo de diferentes periodos de retorno de la cuenca Pastoría, utilizando una cuenca general y después subdividiéndola en subcuencas, determinando el gasto de forma indirecta con estaciones pluviométricas.
- Obtener el gasto máximo de la cuenca Pastoría por medio de una estación hidrométrica localizada aguas abajo del punto de salida de la cuenca en estudio.
- Determinar los gastos máximos por precipitaciones por dos diversos métodos de traslado: con una estación base y con varias estaciones trasladando las precipitaciones al centro de gravedad de cada cuenca.
- Determinar gastos máximos con un parámetro R calculado y un parámetro R determinado por medio de mapas de intensidad de lluvia publicados por la SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.
- Determinación de la IDTr por medio de regresión lineal y por el método de CHEN.
- Determinar el mejor procedimiento para la aplicación de los métodos de gasto máximo, permitiendo que los gastos sean más acercados a la realidad.
- Obtención del volumen de escurrimiento a partir de una estación hidrométrica ubicada aguas abajo de la salida de la cuenca en estudio.
- Desarrollo de un procedimiento para mejorar el cálculo del volumen de escurrimiento de una manera empírica, partiendo de la NOM-011-CNA-2000.

3. ANTECEDENTES

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, en su acrónimo inglés [Geographic Information System]) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información. En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

En los sesenta es la década donde se inicia la carrera tecnológica de los SIG. En Canadá se desarrolla por primera vez un sistema informático que trabajaba con datos geográficos. El Departamento de Agricultura de ese país encargó a Tomlinson la creación del CGIS (Canadian Geographic Information System). Es éste, sin duda, el primer Sistema de Información Geográfica del mundo (TOMLINSON, 1984). Paralelamente en esta misma década se desarrollaron otros proyectos parecidos en Estados Unidos, como fueron: LUNR (Land Use and Resource Information System), MLMIS (Minnesota Land Management Information System), PIOS (Polygon Information Overlay System) y otros. Todas estas iniciativas contribuyeron a despertar un mayor interés en el tratamiento de los datos geográficos. Lógicamente esta preocupación se advierte con mayor énfasis en aquellas sociedades donde las condiciones económicas favorecían el desarrollo de estas tecnologías. A pesar de las primeras tentativas canadienses, es Estados Unidos la nación donde los SIG van a tener el campo de experimentación adecuado, tanto entre las instituciones públicas como en las privadas, y por ello va a ser en este país donde se desarrollen las aplicaciones de mayor envergadura e importancia.

Existen fundamentalmente dos tipos de sistemas de información geográfica:

El modelo vectorial: lleva a cabo la representación de los datos por medio de los elementos bien definidos como son el punto, la línea o el polígono, éstos se encuentran representados en el SIG por medio de coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator), tratándose de estas coordenadas las representadas en un eje cartesiano (x e y).

El modelo ráster, por su parte, se caracteriza porque la representación de la información no se realiza por medio de puntos, líneas o polígonos, sino por celdillas o píxeles.

La utilización de un modelo u otro dependerá de las necesidades que tengamos, por ejemplo, el uso del modelo ráster es muy útil a la hora de representar densidades y gradientes. Sin embargo el principal problema a la hora de usar el modelo ráster se encuentra cuando usamos computadoras y tarjetas gráficas que operan a baja resolución, ya que para usar dicho modelo sin pérdida de resolución se requieren ordenadores potentes: a menor resolución el pixel se distorsiona con la consiguiente pérdida de información; eso sí, a mayor resolución, mayor peso y, por tanto, mayor ralentización si no contamos con los equipos adecuados.

Existe, en tercer lugar, un modelo híbrido entre el modelo ráster y el modelo vectorial, se trata del Modelado Digital del Terreno (MDT). Dicho modelo consiste en la representación tridimensional de la topografía de un territorio. Según el Instituto Geográfico Nacional (IGN) son "modelos de datos numéricos que describen la distribución espacial de una característica cuantitativa y continua del territorio." La principal característica de dicho modelo es la representación por medio de tres coordenadas geográficas (X, Y, Z), siendo X e Y la representación del punto en un eje de coordenadas cartesiano y la Z la altitud o elevación que posee el punto en el espacio. La distribución de dicho punto sigue dos modelos en función de la estructura del propio dato:

1. Modelo de triángulos irregulares (TIN): es un modelo que se basa en la creación o formación de modelos de triángulos irregulares a partir de datos obtenidos originalmente en el propio terreno, los nodos representan los valores altitudinales.
2. Modelo de mallas regulares: dichos modelos consisten en la formación de rejillas formadas por la representación de formas geométricas, tal como, triángulos, rectángulos, cuadrados o hexágonos de las cuales se conoce la altitud de sus propios nodos.

Los programas diseñados para el trabajo de los datos anteriores son especializados en función del tipo de datos que se supone que se van a utilizar, el tipo de aplicaciones y la lógica del trabajo.

Según el tipo de datos:

SIG Ráster, incluye principalmente herramientas para el manejo de variables espaciales y teledetección (IDRISI, GRASS, ERDAS, ERMapper, SPRING, PCRaster).

SIG Vectorial, Manejo de objetos (ArcInfo, ArcView, MapInfo, Geomedia).

Respecto a la forma de organización el trabajo:

SIG basados en menú, Orientados normalmente a la gestión tanto en empresa como en administración (ArcView, IDRISI para Windows, MapInfo, Geomedia, SPRING, Erdas y ERMapper)

SIG basados en comandos, Orientados a la investigación (GRASS, ArcInfo, IDRISI para MSDOS, PCRaster). La ventaja de los programas basados en comandos es la capacidad de programar y ejecutar scripts o comandos complejos, que permiten ahorrar tiempo para realizar tareas repetitivas.

Con el fin de tener un mejor conocimiento del software que existe en la actualidad se detallan las características más significativas de cada uno de los programas de SIG más relevantes.

ArcView 3.x: Es un programa de consulta y visualización de mapas vectoriales y ráster, es decir, permite trabajar tanto con formato vectorial como con formato ráster, aunque está enfocado hacia el formato vectorial. Una de las ventajas más grandes es su potente motor de base de datos, esto permite añadir categorías a los atributos a medida que se visualiza el mapa en pantalla. Una de las desventajas del ArcView son las tareas de edición que son tediosas, con lo que ArcView es el programa idóneo para consultar y expresar el resultado de los datos.

ArcGIS: Es la nueva generación de SIG de ESRI que viene a integrar bajo una misma arquitectura los programas ArcView y ArcInfo de versiones anteriores. Está compuesto por ArcView, ArcEditor y ArcInfo. Todos ellos son fáciles de manejar, con multitud de herramientas para consultar, analizar y presentar los datos.

MapInfo: Está enfocado al mercado de gestión de mapas aplicado a las empresas, permitiendo realizar análisis sofisticados y detallados para tomar decisiones más acertadas, desde crear mapas con detalle para gestionar geográficamente archivos a revelar patrones y tendencias en los datos para entender a los clientes y la demografía del mercado. La facilidad de uso y su integración con las aplicaciones de productividad han hecho de MapInfo el líder en el sector del SIG para planificación estratégica y logística en el área de negocios.

Erdas Image: Es un potente software de tratamiento digital de imágenes, así como el SIG ráster, fácilmente integrable con sistemas vectoriales como ArcGIS. Erdas Image resulta ser un programa de calidad para el análisis de cualquier tipo de dato geográfico, en cualquier campo. Ofrece una solución flexible y escalable para el tratamiento digital de imágenes, análisis espectral, fotogrametría digital, integración de datos SIG y composición de mapas.

ERMapper: Es un avanzado sistema de proceso digital de imágenes, teledetección y composición cartográfica, enfocado a las ciencias de la tierra para integrar, realizar, visualizar e interpretar los datos geográficos. ERMapper representa una innovación al permitir la integración y el proceso de los datos de una forma realmente interactiva y en tiempo real. El interfaz gráfico es fácil de utilizar e integra toda la funcionalidad en un único programa o módulo.

PCRaster: Es un SIG que consiste en un juego de herramientas para guardar, manipular, analizar y recuperar la información geográfica. Es un sistema basado en formato ráster, con la peculiaridad de la manera de almacenar los tipos de datos en la base de datos y las posibilidades para la manipulación y análisis de los datos. La arquitectura del sistema permite la integración de modelos con las funciones de los SIG clásicos.

Geomedia: Geomedia profesional ha sido el primer producto de captura y manejo de datos especiales diseñado para trabajar con bases de datos relacionales estándares. Está enfocado hacia la alta productividad en captura, edición, análisis y salida de datos. Ha sido diseñado específicamente para producir una solución SIG completa desde la captura hasta la salida de datos. Geomedia Pro se integra con la mayoría de las herramientas de automatización de oficina, tales como hojas de cálculo, presentaciones, o herramientas para informes.

GRASS: (Geographic Resources Analysis Support System), es un SIG usado en el manejo de datos, procesamiento de imágenes, producción gráfica, modelización especial y visualización de muchos tipos de datos. En la actualidad es uno de los sistemas más conocidos y utilizados, cuenta con la ventaja que es de libre distribución y opera en estaciones de trabajo con UNIX, y está disponible también para LINUX. GRASS está compuesto por módulos, lo que permite implementarlo para diversos usos. Es compatible con los formatos ArcView y MapInfo.

SPRING: Es un SIG gratuito de fácil manejo y grandes prestaciones. Puede descargarse el programa completamente operativo. Soporta funciones de procesamiento de imágenes, análisis geográfico, MDT, algebra de mapas, consulta a base de datos relacionales, importación de datos, georreferenciación, etc. Se trata de un sistema multiplataforma UNIX y Windows que trabaja con tipo de datos vector/ráster.

Miramon: Es un programa reciente que permite la edición, visualización y consulta de mapas ráster y vectoriales. Pese a su entorno poco vistoso, posee grandes ventajas respecto a otros programas SIG, ya que permite soportar gran cantidad de formatos de archivos, posee una gran capacidad de exportación e importación, posibilita las labores de estructuración topológica de vectores no estructurados y permite la digitalización y edición vectorial sobre la pantalla, tanto encima de rásters como de otros vectores. Los formatos que utiliza el Miramon son vectorial, ráster y una composición de ambos.

Idrisi32: Es una versión mejorada de Idrisi v2.0. Es un programa adecuado para a visualización y manejo de ambos tipos de datos: ráster y vectorial, aunque el análisis está orientado principalmente al usos de imágenes ráster. Por ello suele describirse como un sistema ráster. No obstante posee una serie de comandos de conversión vectorial a ráster que permite incorporar con facilidad las capas vectoriales a los procesos de análisis. Además incorpora un sistema de gestión de base de datos que está directamente conectado a los datos vectoriales. Así ofrece

una buena solución a los análisis geográficos que requieren ambos tipos de capas temáticas. En Idrisi32 la introducción de los datos es el único problema, salvo ésta particularidad está reconocido como el mejor software de análisis para formato ráster.

La presente tesis fue desarrollada con ayuda del software ArcView 3.2, tomando en consideración la posibilidad de utilizar tanto formatos vectoriales como rásters, se emplearon diversas extensiones para dicho programa, las cuales se describen a continuación:

DetermHidro Ver 1.0

Desarrollada en la Universidad Autónoma de Querétaro, como tema de tesis "DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL DIAGNÓSTICO HIDROLÓGICO DE CUENCAS". DetermHidro Ver 1.0 fue diseñada pensando en facilitar, automatizar y estandarizar la extracción de datos hidrológicos de las cuencas usando como entrada solamente los límites (parteaguas) de las cuencas y el modelo de elevación (en formato Grid de ArcView), las características de la cuenca que calcula son: Área, Perímetro, Longitud de la cuenca, índice de forma, coeficiente de compacidad, relación de elongación, densidad de drenaje, longitud de cauce, densidad de corriente, pendiente media, elevación mínima, elevación máxima, elevación media, orden de cuenca, relación de bifurcación, además da como resultado un hipsograma de la cuenca y el perfil del cauce en estudio.

Spatial Analyst 1.1

El módulo de Spatial Analyst provee funciones basadas en ráster que incluyen cuencas, contornos, análisis de distancia, y superposiciones (overlays) de capas de información. Permite el modelado ráster y vectorial integrado. Este módulo permite la generación de curvas de nivel a partir de modelos de elevación del terreno.

3D Analyst

Permite la visualización y el análisis efectivo de datos de superficie. Usando esta extensión se puede ver una superficie desde varios puntos de vista, consultar superficies, determinar lo que es visible desde una ubicación seleccionada, crear imágenes en perspectiva. Posee la aplicación de ArcScene lo que da la interfaz para ver capas múltiples de datos tridimensionales, creando y analizando superficies, modelamientos tridimensionales tales como corte y relleno, líneas de vista y modelamiento topográfico.

CAD Reader

Esta extensión permite leer y editar archivos creados en AutoCAD (DWG y DXF) y en MicroStation (DGN). Permite leer y visualizar archivos CADs en 3D

GeoProcessing

Permite realizar operaciones de naturaleza espacial (disolver, fusionar, recortar, interceptar, unir, crear áreas de influencia).

Projection Utility Wizard

Permite cambiar la proyección de un tema en formato vectorial. También permite cambiar de datum.

IMAGINE reader

Permite leer archivos raster en los siguientes formatos ADRG, CADRD, CIB, ERDAS IMAGINE, JPEG (JFIF), MrSID, NITF y TIFF.

Legend Tool

Permite personalizar la leyenda en una composición cartográfica.

Export DXF

Permite la conversión de un archivo SHAPE a un archivo DXF

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. El usuario puede estimar los parámetros hidrológicos a partir de las características de la cuenca y los cauces, precipitación media y los datos de caudales.

SIRT Tools

Permite exportar la información de las tablas de atributos a Excel.

ImageWarp 2.0

Esta extensión es de bastante utilidad en la georeferenciación de imágenes, las condiciones que se deben de cumplir es tener una imagen en formato GIF, la cual puede referenciarse en base a un shape que tenga la misma forma o que la imagen corresponda a lo que representa el shape.

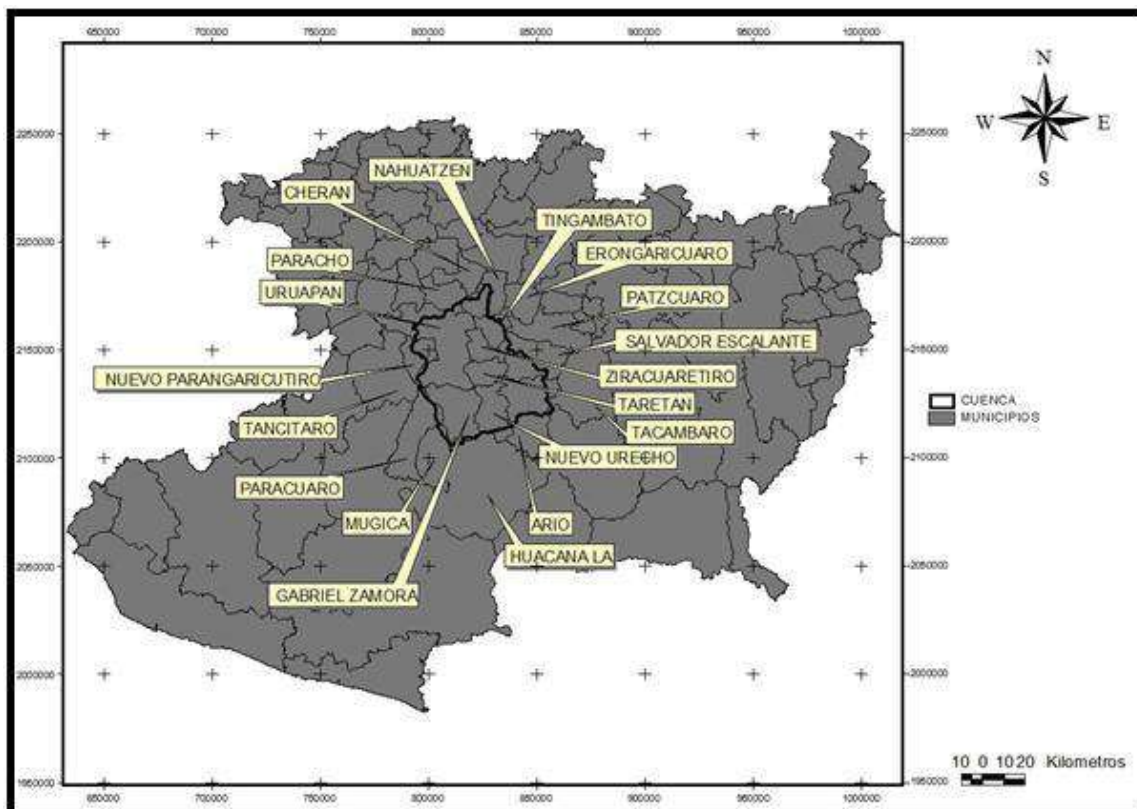
Se utiliza a de más del programa ArcView 3.2, softwares como Autocad, Civilcad, Excel y el HEC-HMS.

HEC-HMS es un programa complejo que calcula el hidrograma producido por una cuenca si le facilitamos datos físicos de la cuenca y datos de precipitación.

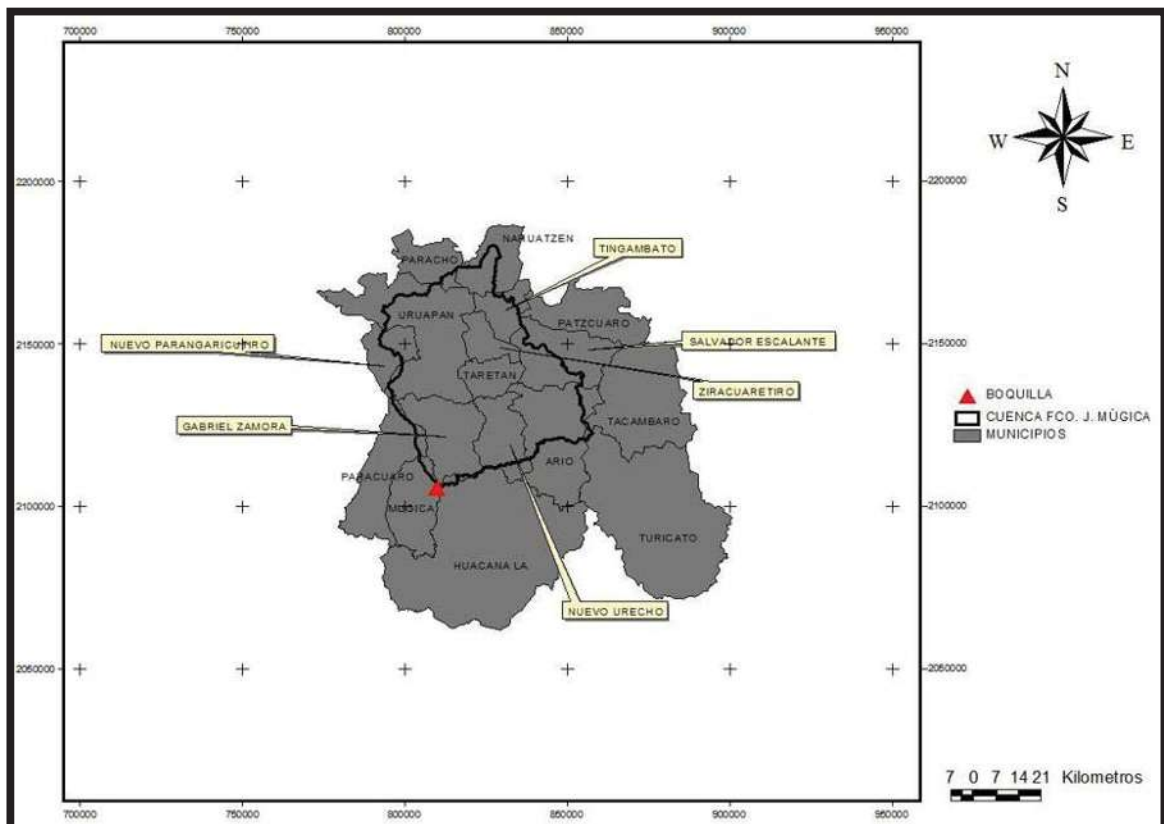
4. CONDICIONES NATURALES DE LA CUENCA

4.1. LOCALIZACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA

La zona de estudio se localiza dentro de la región Infiernillo al norte del municipio de Múgica. Con coordenadas de la boquilla de 19° 01' 12" de latitud norte y 102° 03' de longitud oeste, a una altura de 297 msnm. Limita al norte con los municipios de Uruapan, Paracho, Cherán, Nahuatzen, Tingambato y Patzcuaro al oeste con Tancítaro, Nuevo Parangaricutiro, Parácuaro, Múgica, al Este con Salvador Escalante y al sur con La Huacana, Turicato y Ario de Rosales.



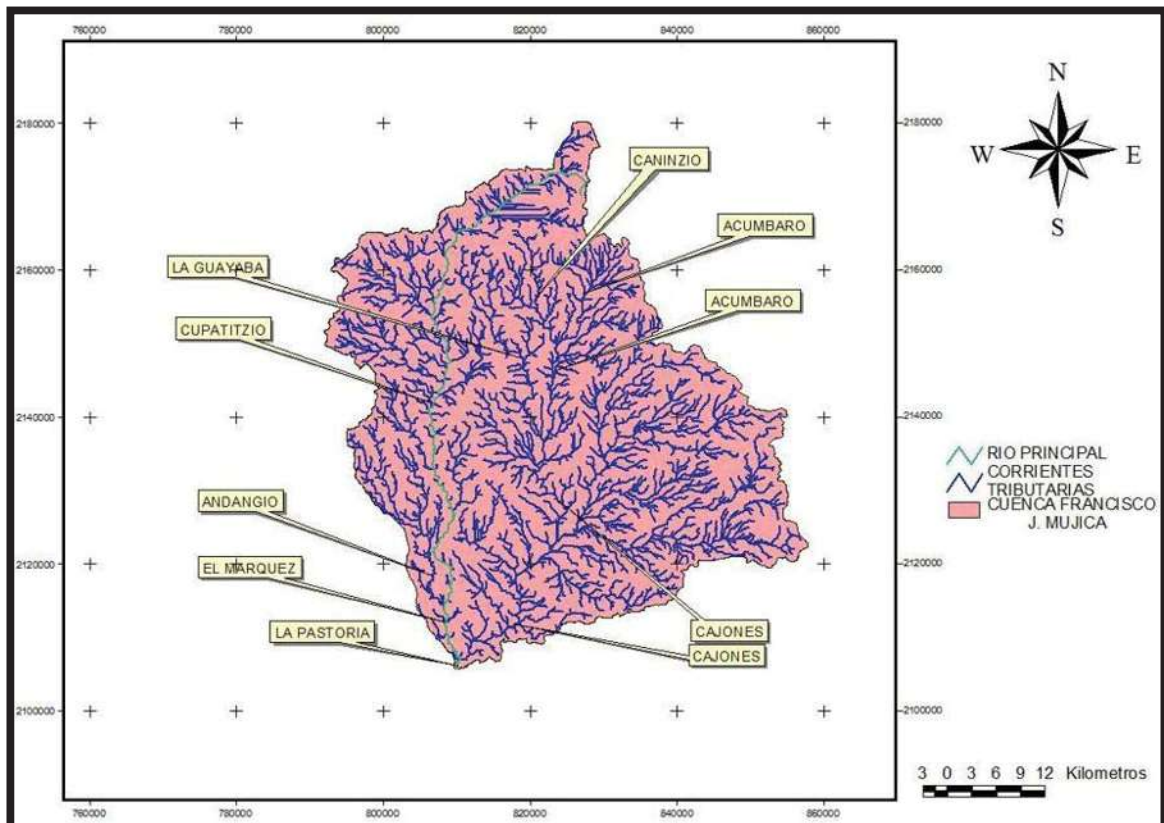
Macro localización de la cuenca dentro de la región Infiernillo del Estado de Michoacán



Micro localización de la cuenca dentro de la región Infiernillo del Estado de Michoacán

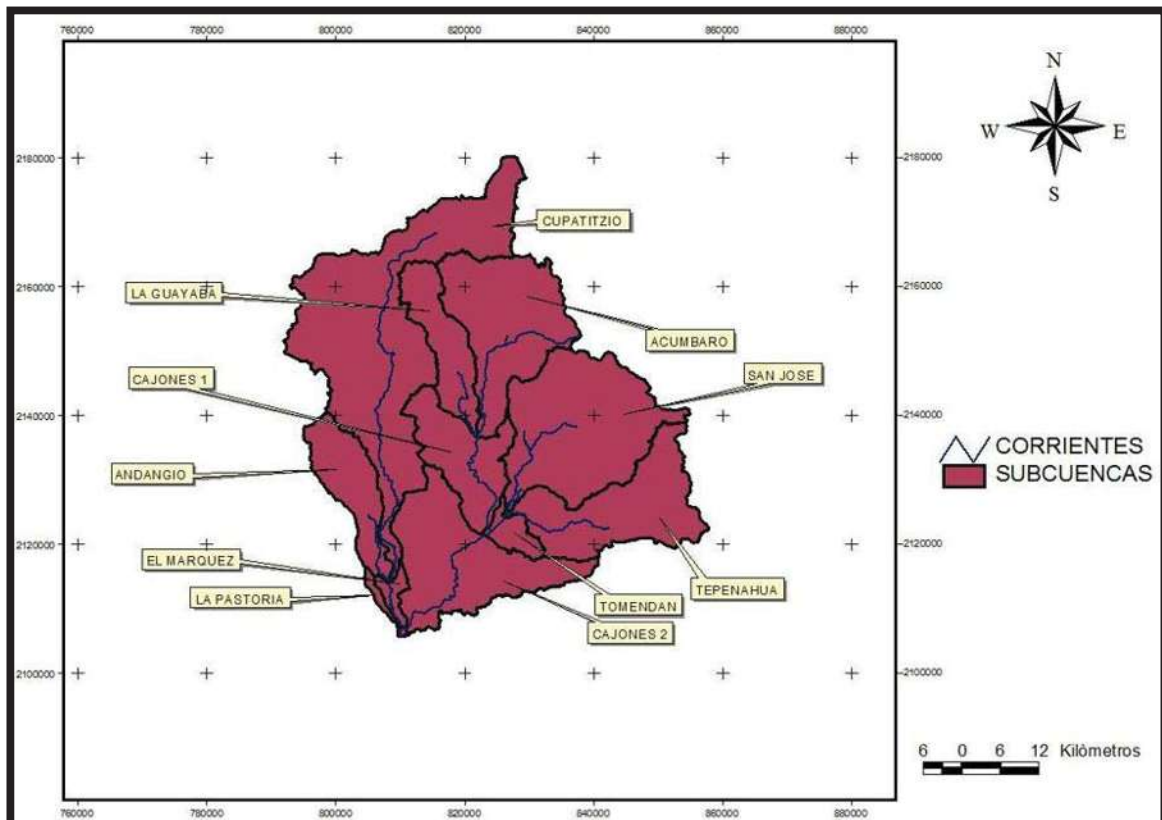
4.2. HIDROGRAFÍA

Su hidrografía lo constituyen fundamentalmente el río La Pastoría, el cual es la unión entre el Marqués y el río Cajones, cuyos afluentes son los ríos: Andangio, Cupatitzio, La Guayaba, Tomendan, Acúmbaro, Tepenahua y San José.



Principales corrientes dentro de la cuenca.

Tomando en consideración el tamaño de la cuenca, el estudio hidrológico es determinado por partes o subcuencas, en base a los diferentes nombres de las corrientes fue como se nombraron estas subcuencas, como se muestra en el siguiente mapa.



Subcuencas divididas en base a los ríos principales de la cuenca Pastoría.

4.3. FISIOGRAFÍA

La región se encuentra dentro de la depresión del Balsas-Tepalcatepec ésta provincia se encuentra entre la sierra Madre del Sur y el Cinturón Volcánico Transmexicano, con la misma dirección que éstos; se formó, al igual que la sierra Madre del Sur, después de levantamientos que se iniciaron en el Cretácico. La erosión ha formado un relieve ondulado, y los movimientos que afectaron a la Sierra Madre del Sur originaron un fracturamiento por donde el río Balsas se abrió camino hacia el Pacífico. Esta región intermontaña presenta las características de sombra orográfica para la lluvia, o sea que las masas de aire húmedo del Pacífico, al subir por la ladera, se enfrían, y llueve en la vertiente de la Sierra Madre del Sur que ve al océano; al bajar las masas de aire por la ladera que ve a la depresión, sufren calentamiento adiabático y disminuye la humedad relativa; en consecuencia, las lluvias son escasas, por lo que el clima es seco en la mayor parte de la región.

4.4. OROGRAFÍA

Estribaciones meridionales del sistema volcánico transversal, cerro de Las Canoas, La Copa, El Estribo, La Sierrita y El Milpillás.

4.5. GEOLOGÍA

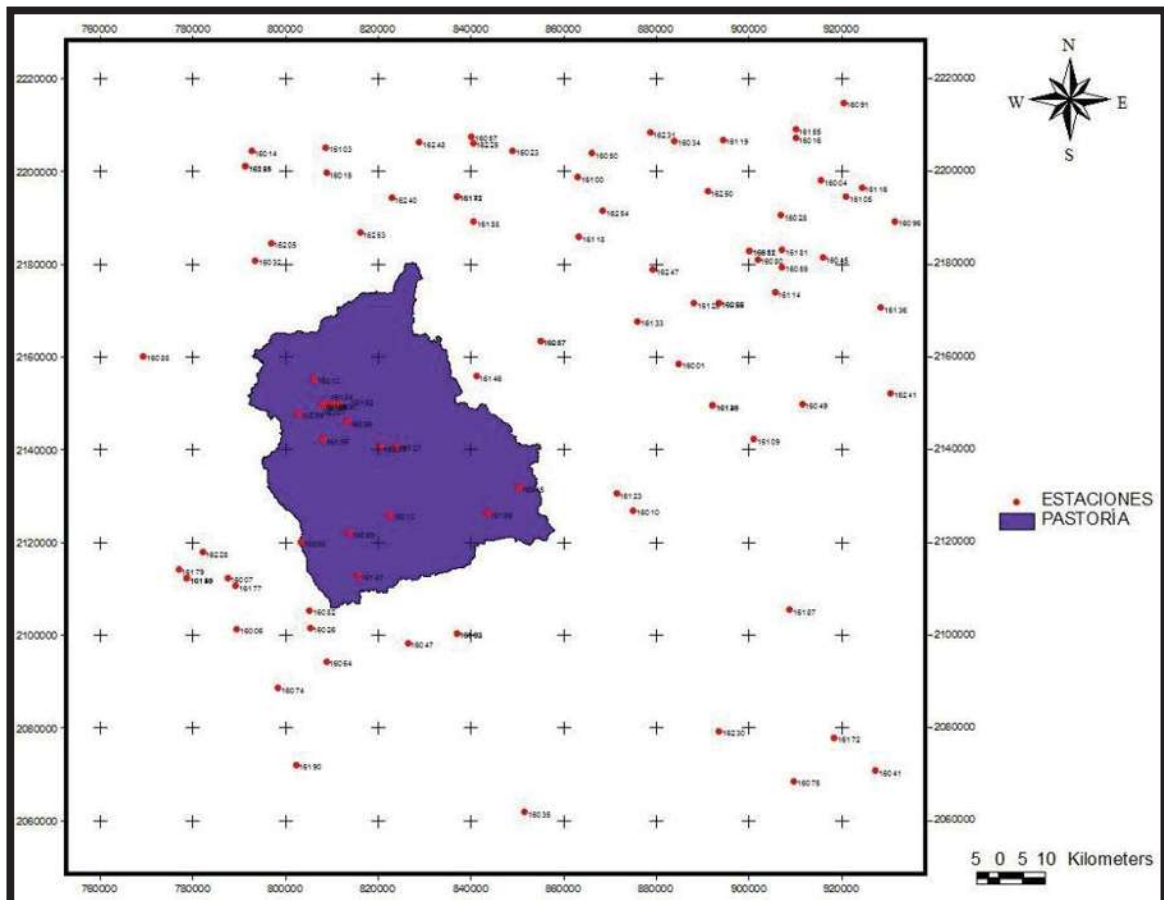
Las formaciones predominantes corresponden al Paleozoico y están constituidas por rocas metamórficas e intrusivas, en tanto que en las partes altas y bajas del río Tepalcatepec, se hace aparente una formación perteneciente al Cenozoico medio volcánico, constituida por derrames de lava, brecha y toba de composición variable entre basalto y riolita. La parte media está formada por rocas volcánicas del Plioceno superior al reciente, entre las que predominan lavas, brechas y tobas (basálticas y andesíticas) (Bernal, 1984; Juárez, 1989).

5. INFORMACIÓN DISPONIBLE

5.1. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

En cuanto a la información disponible de climatología se realizó una consulta de estaciones dentro del mapa de estaciones del estado de Michoacán, así como de la Base de Datos ERIC III producida por el IMTA y el CLICOM producido por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Las estaciones cercanas a la cuenca se muestran en el siguiente mapa y tabla.



Estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca Pastoría

NÚMERO	CLAVE	NOMBRE	ESTADO	LONGITUD	LATITUD
1	16001	ACUITZIO DEL CANJE,(SMN)	Mich.	-101.333	19.483
2	16006	ANTUNEZ, PARÁCUARO	Mich.	-102.250	18.983
3	16007	APATZINGÁN, APATZINGÁN	Mich.	-102.267	19.083
4	16010	BARTOLINAS, TACÁMBARO	Mich.	-101.433	19.200
5	16012	CAJONES, GABRIEL ZAMORA	Mich.	-101.933	19.200
6	16014	CAMÉCUARO, TANGANCÍCUARO	Mich.	-102.204	19.912
7	16015	CARAPAN, CHILCHOTA	Mich.	-102.050	19.867
8	16023	COPANDARO DE GALEANA,	Mich.	-101.666	19.904
9	16026	CUATRO CAMINOS, NVA. I.	Mich.	-102.100	18.983
10	16032	CHARAPAN, CHARAPAN	Mich.	-102.200	19.700
11	16047	EL ZAPOTE, LA HUACANA	Mich.	-101.900	18.950
12	16053	INGENIO SAN SEBASTIAN,	Mich.	-102.583	19.567
13	16056	JICALAN, URUAPAN	Mich.	-102.017	19.383
14	16057	JIMENEZ, VILLA JIMENEZ	Mich.	-101.750	19.933
15	16062	LA HUACANA, LA HUACANA	Mich.	-101.800	18.967
16	16064	LA PASTORÍA, NVA. ITALIA	Mich.	-102.067	18.917

NÚMERO	CLAVE	NOMBRE	ESTADO	LONGITUD	LATITUD
17	16072	LOS CHORROS DEL VARAL,	Mich.	-102.583	19.500
18	16073	LOS LIMONES, LOS REYES	Mich.	-102.583	19.567
19	16074	LOS PANCHES, LA HUACANA	Mich.	-102.167	18.867
20	16077	LOS REYES, LOS REYES	Mich.	-102.483	19.583
21	16082	NUEVA ITALIA, ZARAGOZA	Mich.	-102.100	19.017
22	16085	PARÁCUARO, PARÁCUARO	Mich.	-102.117	19.150
23	16087	PÁTZCUARO, PÁTZCUARO	Mich.	-101.617	19.533
24	16088	PERIBÁN, PERIBÁN	Mich.	-102.433	19.517
25	16089	PLANTA H. EL COBANO, G.Z	Mich.	-102.017	19.167
26	16100	PUENTE SAN ISIDRO,	Mich.	-101.533	19.850
27	16103	PURÉPERO, PURÉPERO	Mich.	-102.050	19.917
28	16109	SAN DIEGO CURUCUPATZEO,	Mich.	-101.183	19.333
29	16118	SANTA FE, QUIROGA	Mich.	-101.533	19.733
30	16123	TACÁMBARO, TACÁMBARO	Mich.	-101.467	19.233
31	16125	TANGANCÍCUARO A.ETUCUARO	Mich.	-102.217	19.883
32	16127	TARETAN, TARETAN	Mich.	-101.917	19.333
33	16130	E.N.M.G.F. URUAPAN,	Mich.	-102.050	19.417
34	16133	TURICATO, TURICATO	Mich.	-101.417	19.567
35	16138	URUAPAN, URUAPAN (DGE)	Mich.	-102.067	19.417
36	16139	VILLA MADERO, MADERO	Mich.	-101.267	19.400
37	16140	VILLA MADERO, MADERO	Mich.	-101.267	19.400
38	16142	ZACAPU, ZACAPU (DGE)	Mich.	-101.783	19.817
39	16146	ZIRAHUEN,VILLA ESCALANTE	Mich.	-101.750	19.467
40	16147	ZIRITZÍCUARO, LA HUACANA	Mich.	-102.000	19.083
41	16149	APATZINGÁN, APATZINGÁN	Mich.	-102.350	19.083
42	16150	APATZINGÁN, APATZINGÁN	Mich.	-102.350	19.083
43	16156	CHARAPENDO, G. ZAMORA	Mich.	-102.067	19.350
44	16164	URUAPAN, URUAPAN (SMN)	Mich.	-102.067	19.417
45	16165	URUAPAN, URUAPAN (CFE)	Mich.	-102.067	19.417
46	16168	ARIO DE ROSALES, (SMN)	Mich.	-101.733	19.200
47	16171	ZACAPU, ZACAPU (SMN)	Mich.	-101.783	19.817
48	16177	URUCUATO,PARÁCUARO	Mich.	-102.250	19.067
49	16178	ESC.NAL.GUARDIAS FOREST.	Mich.	-102.067	19.417
50	16179	APATZINGÁN(AMSA),APATZINGÁN	Mich.	-102.367	19.100
51	16182	URUAPAN(AMSA),URUAPAN	Mich.	-102.033	19.417
52	16184	AGRO-URUAPAN, URUAPAN	Mich.	-102.050	19.417
53	16187	ESC. TEC. AGRO. 139,	Mich.	-101.117	19.000
54	16188	TIRÍNDARO, ZACAPU	Mich.	-101.750	19.767
55	16193	E.T.A. 36 LA HUACANA,	Mich.	-101.800	18.967
56	16194	E.T.A. 39 TOCUMBO, (SMN)	Mich.	-102.500	19.700

NÚMERO	CLAVE	NOMBRE	ESTADO	LONGITUD	LATITUD
57	16201	C.N.I.E.A. I.LOPEZ RAYÓN	Mich.	-102.067	19.417
58	16203	TINGAMBATO ESC.SEC. FED.	Mich.	-102.067	19.417
59	16205	CHILCHOTA E.T.A. 140,	Mich.	-102.167	19.733
60	16207	E.T.A. 297, TARETAN	Mich.	-101.950	19.333
61	16212	BARRANCA DE CUPATITZIO	Mich.	-102.083	19.467
62	16225	VILLA JIMENEZ, V.JIMENEZ	Mich.	-101.747	19.920
63	16228	ACAHUATO, APATZINGÁN	Mich.	-102.317	19.133
64	16240	EL PUEBLITO, ZACAPU	Mich.	-101.917	19.817
65	16247	CAPULA, MORELIA	Mich.	-101.383	19.667
66	16248	CAURIO DE GUADALUPE	Mich.	-101.858	19.923
67	16251	PATAMBAN, TANGANCÍCUARO	Mich.	-102.217	19.883
68	16253	TANACO, CHERAN	Mich.	-101.983	19.750
69	16254	TEREMENDO, MORELIA	Mich.	-101.483	19.783
70	16257	STA. ISABEL DE AJUNO	Mich.	-101.617	19.533
71	16259	TZINDIO, SAN JUAN NUEVO	Mich.	-102.117	19.400
72	16515	LA SANDIA,PÁTZCUARO	Mich.	-101.667	19.250

Clave de las estaciones meteorológicas

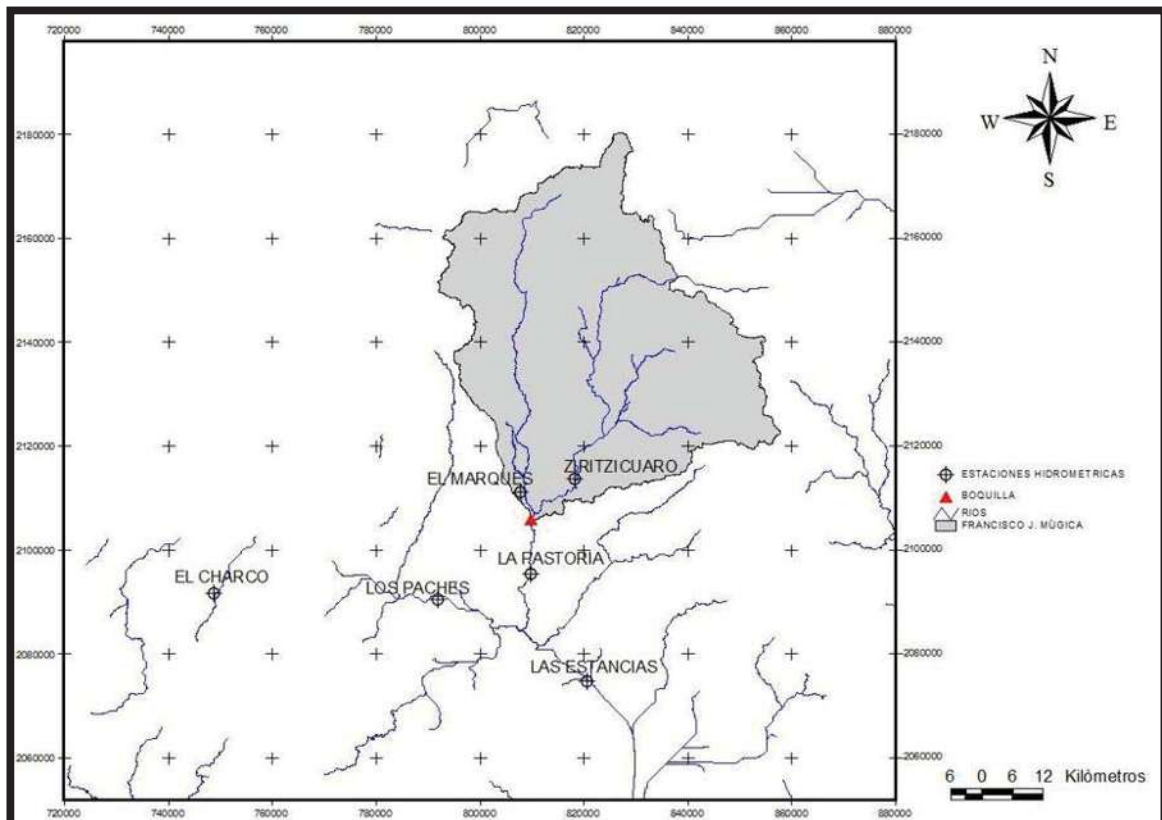
5.2. INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

La identificación de las estaciones hidrométricas en la zona se hizo atendiendo a la localización geográfica de la zona de estudio.

Para la selección de estaciones se consultó del mapa de estaciones del estado de Michoacán, así como de la Base de Datos SIAS (Sistema de Información de Aguas Superficiales). Las estaciones encontradas así como ubicación se muestran en la tabla y mapa siguiente:

NOMBRE	UBICACIÓN	
	Latitud	Longitud
La Pastoría	18° 55' 40"	102° 55' 40"
Zirizícuaró	19° 05' 30"	101° 58' 24"

Estaciones hidrométricas en la zona de estudio



Mapa de estaciones hidrométricas en la zona de estudio

La estación hidrométrica de utilidad con respecto a la información que se puede observar en el mapa es La Pastoría, por encontrarse aguas debajo de la salida de la cuenca.

La estación hidrométrica “La Pastoría” se localiza sobre el río el Marqués en el municipio de La Huacana, Mich. A 300 m aguas abajo del puente La Pastoría; a seis kilómetros al este de Gambara, Mich. a 4.5 km al nor-noroeste de la ranchería El Chaux, Mich., a 10.5 km al sureste de Nueva Italia, Mich., a 12.8 km al oeste de la presa Zicuirán y 26 km al oeste-suroeste de La Huacana, Mich.

El río el Marqués tiene como principal formador al río cupatitzio que se origina en el cerro del pario a una altitud de 2750 m.s.n.m., desciende inicialmente con rumbo este, con el nombre de río de coería y después de unos 10 km cambia gradualmente su dirección al sur donde recibe los importantes volúmenes que proceden del manantial conocido como “La rodilla del diablo” que brota dentro del Parque Nacional Lic. Eduardo Ruiz situado en la parte noroeste de Uruapan, Mich, en esta parte prosigue su rumbo hacia el sur con el nombre de Río Cupatitzio, conservando ese nombre hasta la confluencia con la barranca de Andangio, por la margen derecha.

A partir de esta confluencia la corriente principal recibe el nombre de Río Marqués y cruza la carretera federal No. 37 de Uruapan a Nueva Italia de Ruiz, confluyendo más adelante por la margen izquierda el río de la parota; después cruza la carretera federal No. 120 en el tramo Apatzingan-Ario de Rosales localizándose en este cruce el puente conocido como La Pastoría de donde a unos 300 m aguas abajo se localiza la estación hidrométrica “La Pastoría” que opera la C.F.E., finalmente el río el Marqués empieza a descubrir una serie de inflexiones de este a oeste para finalmente confluir al río Tepalcatepec por la margen izquierda de este a 20 km al sur de Nueva Italia, Mich.

En este río muy próximo al sitio donde se localiza la boquilla se ubica la estación hidrométrica La Pastoría cuyas coordenadas geográficas se indican en la tabla siguiente.

CLAVE	NOMBRE	CAUCE	UBICACIÓN	
			Latitud	Longitud
18495	La Pastoría	El Marqués	18° 55' 40"	102° 55' 40"

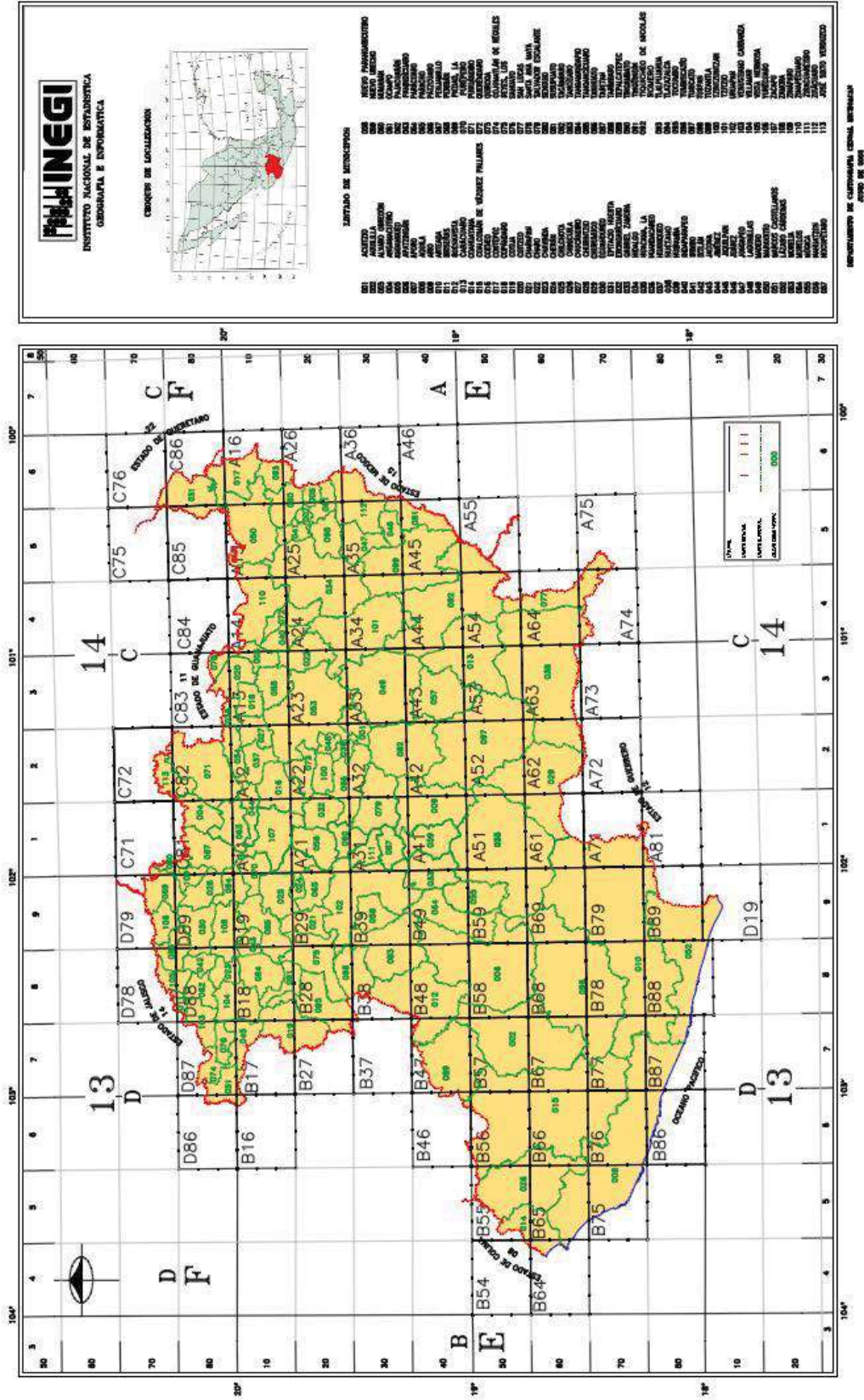
Coordenadas de la estación hidrométrica La Pastoría

5.3. INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA

La información topográfica de la cuenca Pastoría se obtuvo de las cartas vectoriales producidas por el INEGI: E13B29, E13B39, E13B49, E14A21, E14A31, E14A41, E14A32 y E14A42 a escala 1:50,000. Así como del Modelo Digital de Elevación (MDE) editadas por el INEGI: E13B29, E13B39, E13B49, E14A21, E14A31, E14A41, E14A32 y E14A42 a escala 1:50,000, formato raster, proyección UTM, en coordenadas geográficas.

Las claves de los mapas fueron obtenidas en base al mapa siguiente, proporcionado por el INEGI.

INDICE DE CARTAS DEL ESTADO DE MICHOACAN



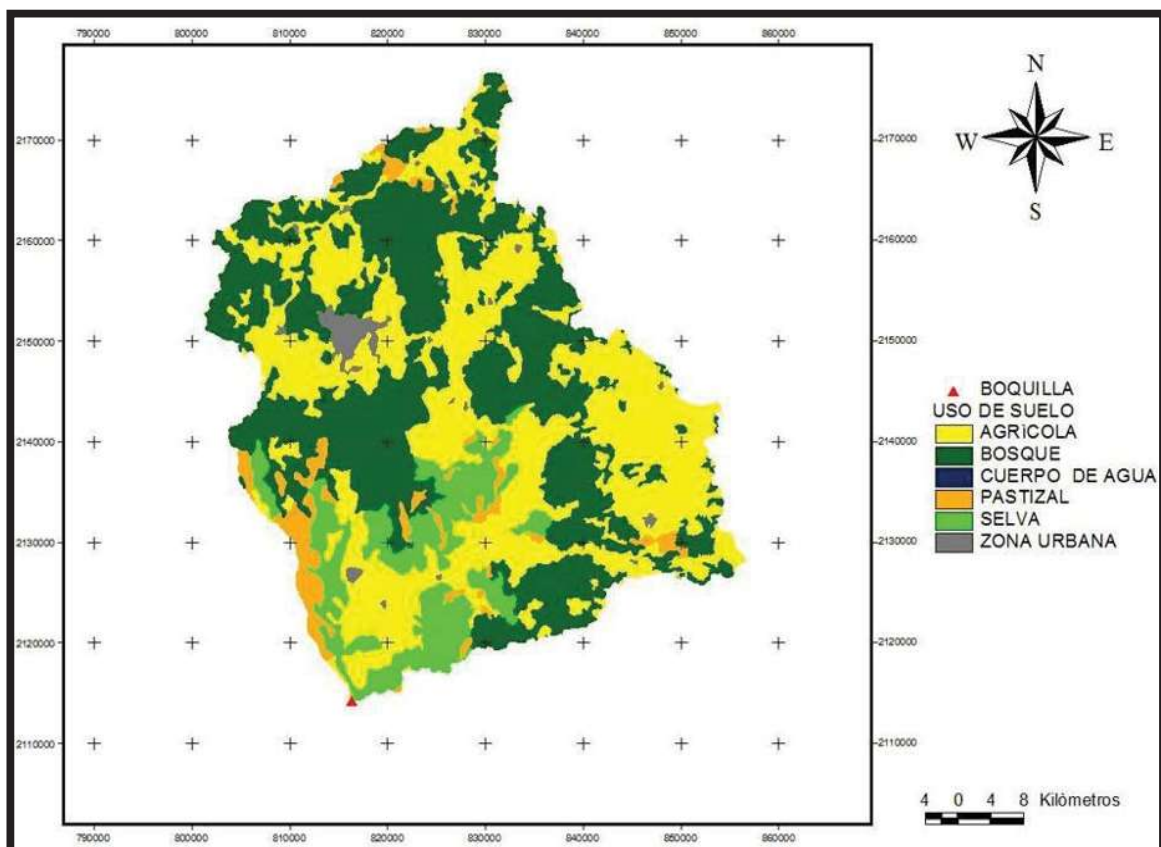
5.4. INFORMACIÓN DEL USO DE SUELO

El uso de suelo se obtuvo en base a las cartas E1401 y E1303 a escala 1:250 000 proporcionados por el INEGI.

La cuantificación de Uso de Suelo se observa en la tabla y figura siguiente:

USO	AREA (m2)	%
AGRICOLA	1097.76	40.08
BOSQUE	1152.71	42.08
CUERPO DE AGUA	0.27	0.01
PASTIZAL	156.05	5.7
SELVA	271.09	9.9
ZONA URBANA	61.32	2.24
SUMA	2739.19	100

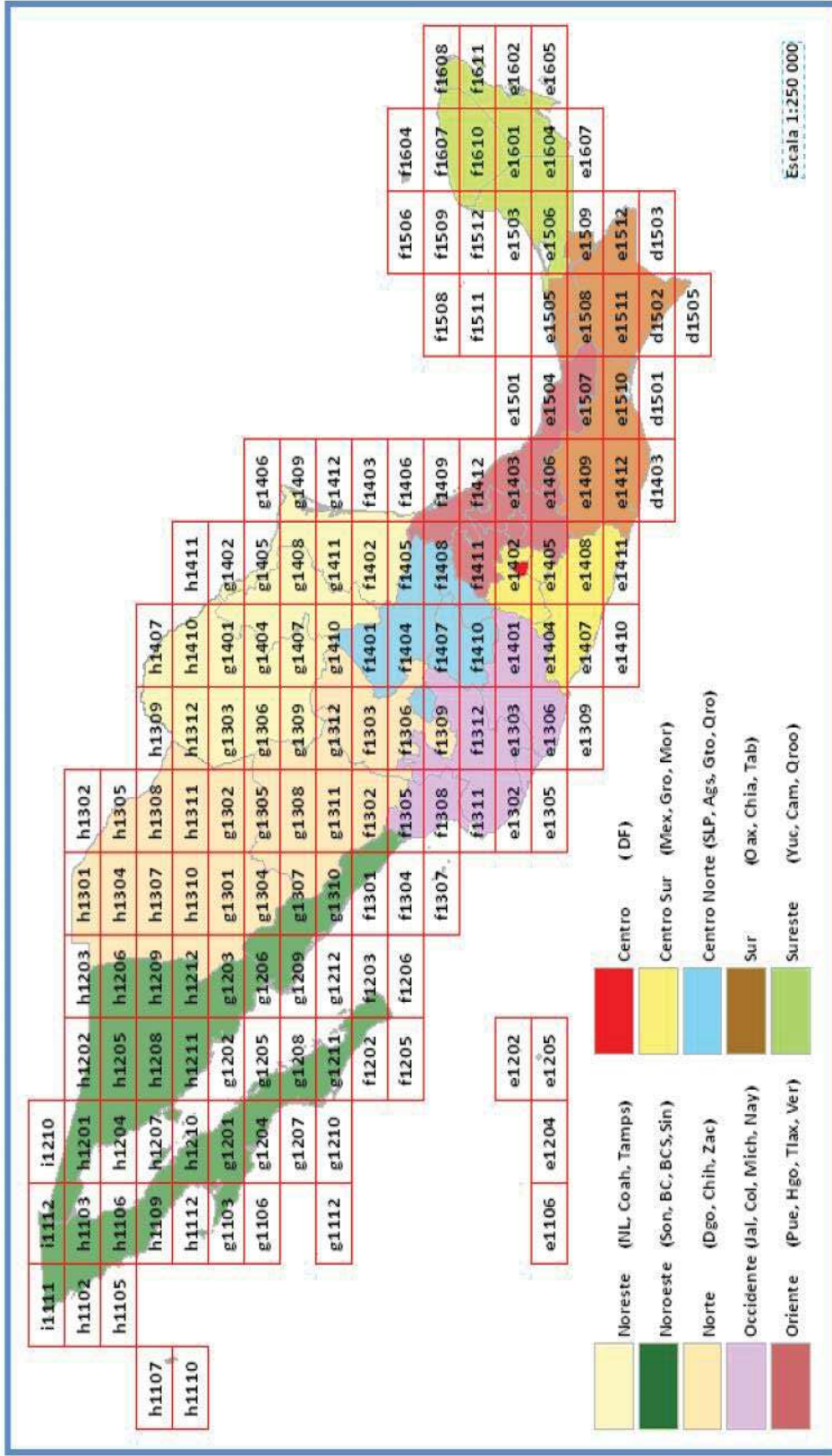
Zonificación y Cuantificación de uso de suelo en la cuenca Tziritzícuaro.



Las claves de las cartas se obtienen en base al mapa que se muestra a continuación, proporcionado por el INEGI, estas claves son las mismas para la edafología.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

DIRECCIÓN GENERAL DE GEOGRAFÍA Y MEDIO AMBIENTE



Escala 1:250 000

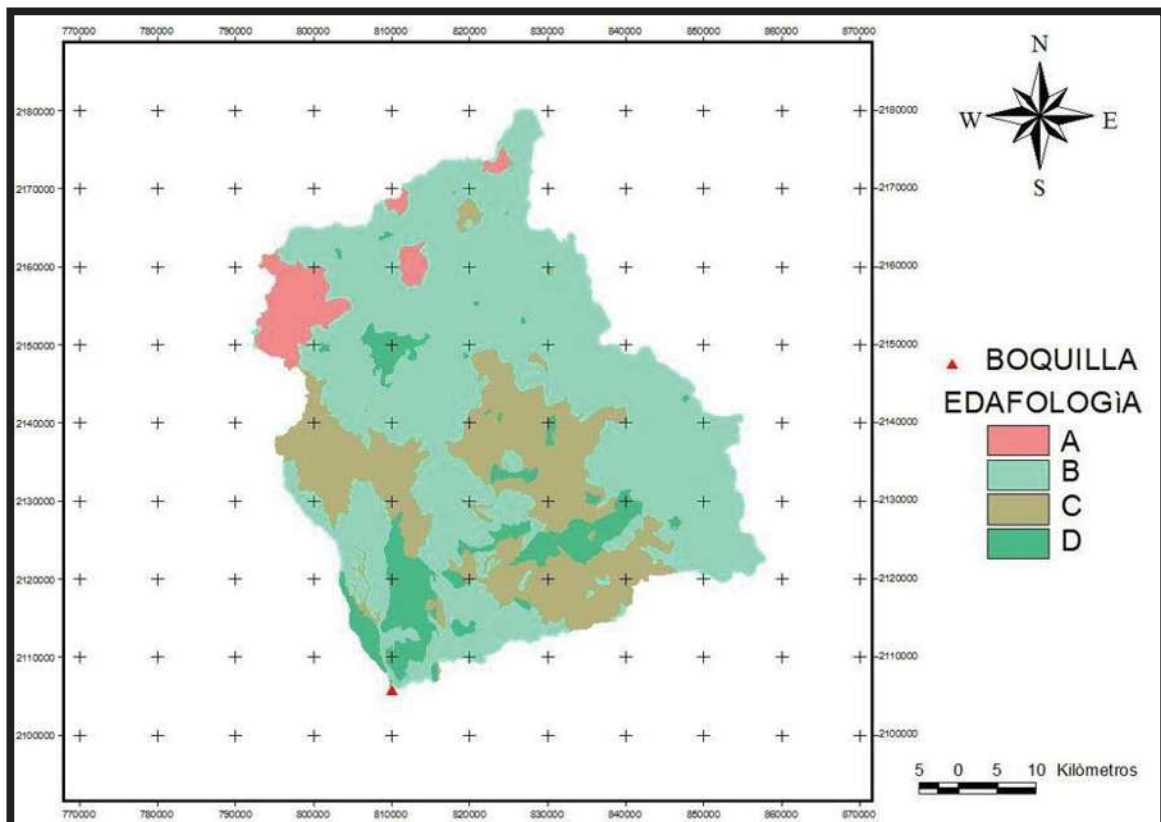
5.5. INFORMACIÓN EDAFOLÓGICA

La edafología se obtuvo en base a las cartas E1401 y E1303 a escala 1:250 000 proporcionados por el INEGI.

La cuantificación del Tipo de Suelo en la cuenca Pastoría se presenta en la tabla y mapa siguiente:

TIPO DE SUELO	AREA (Km.²)	AREA (%)
A	125.99	4.6
B	1736.1	63.38
C	643.67	23.5
D	233.43	8.52
SUMA	2739.19	100

Zonificación y Cuantificación de Tipo de Suelo en la cuenca Francisco J- Múgica.

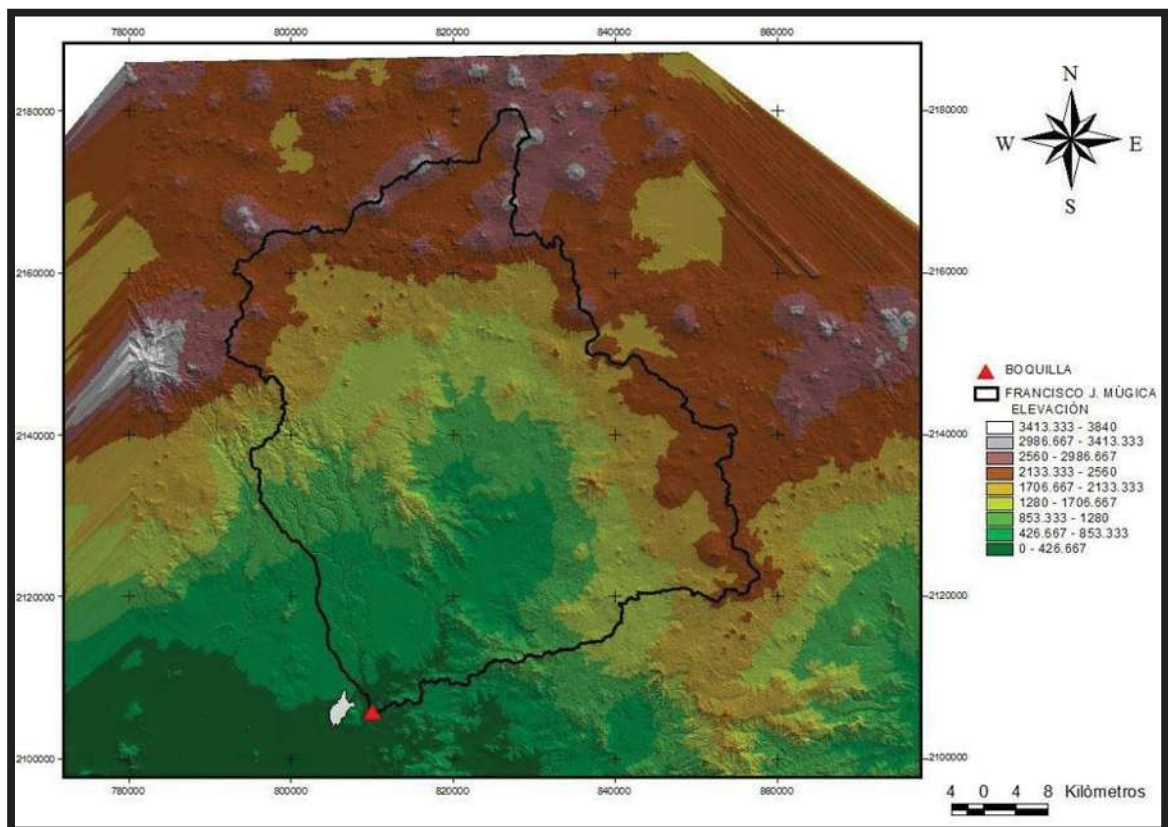


Mapa de Tipo de Suelo de la cuenca Pastoría.

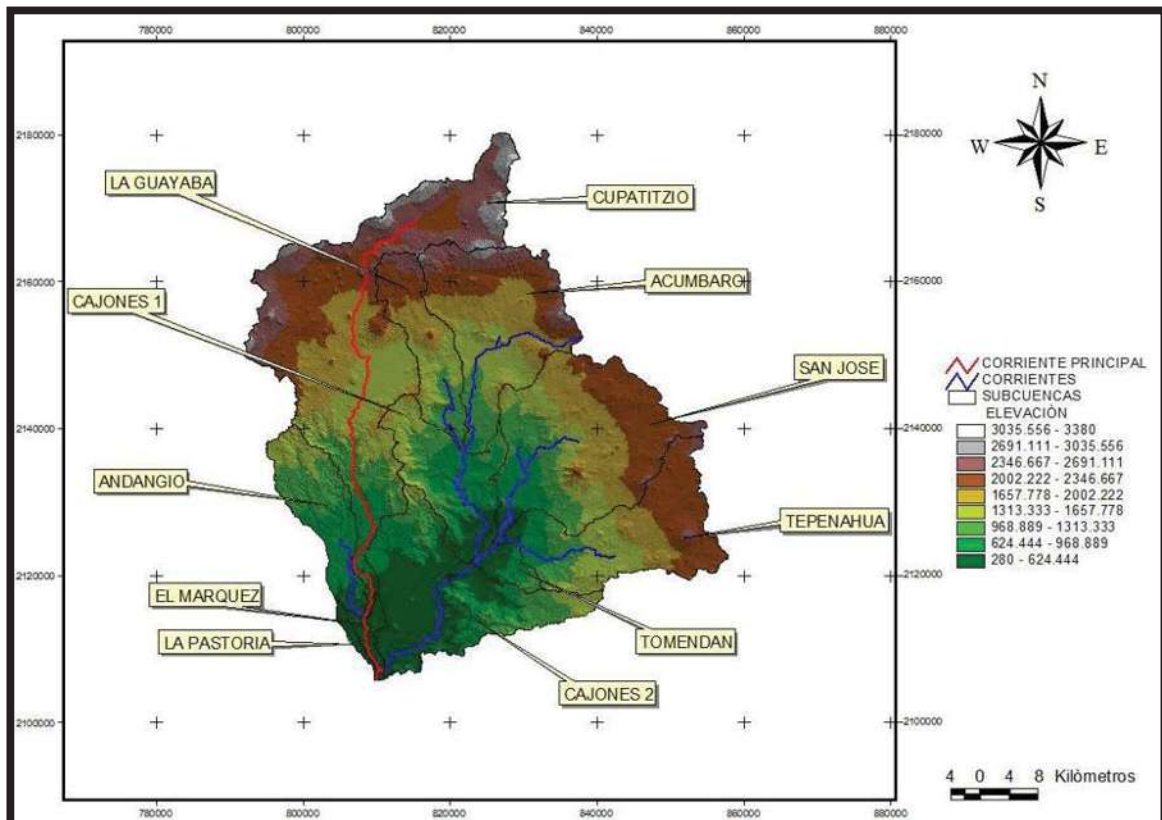
6. METODOLOGÍA

El desarrollo de este estudio hidrológico se coloca en 5 rubros:

- Determinación del gasto máximo asociado a diferentes periodos de retorno por medio de una estación hidrométrica encontrada aguas debajo de la salida de la cuenca en estudio.
- Cuenca Pastoría sin subcuencas (se refiere a la determinación de gastos máximos utilizando toda el área de la cuenca, es decir, no se toma en consideración las diferentes vertientes que llegan al cauce principal y tampoco la evolución del mismo cauce principal a través de la cuenca, en cuencas pequeñas, estos factores no serían de gran relevancia, debido a que la topografía se puede considerar como homogénea).



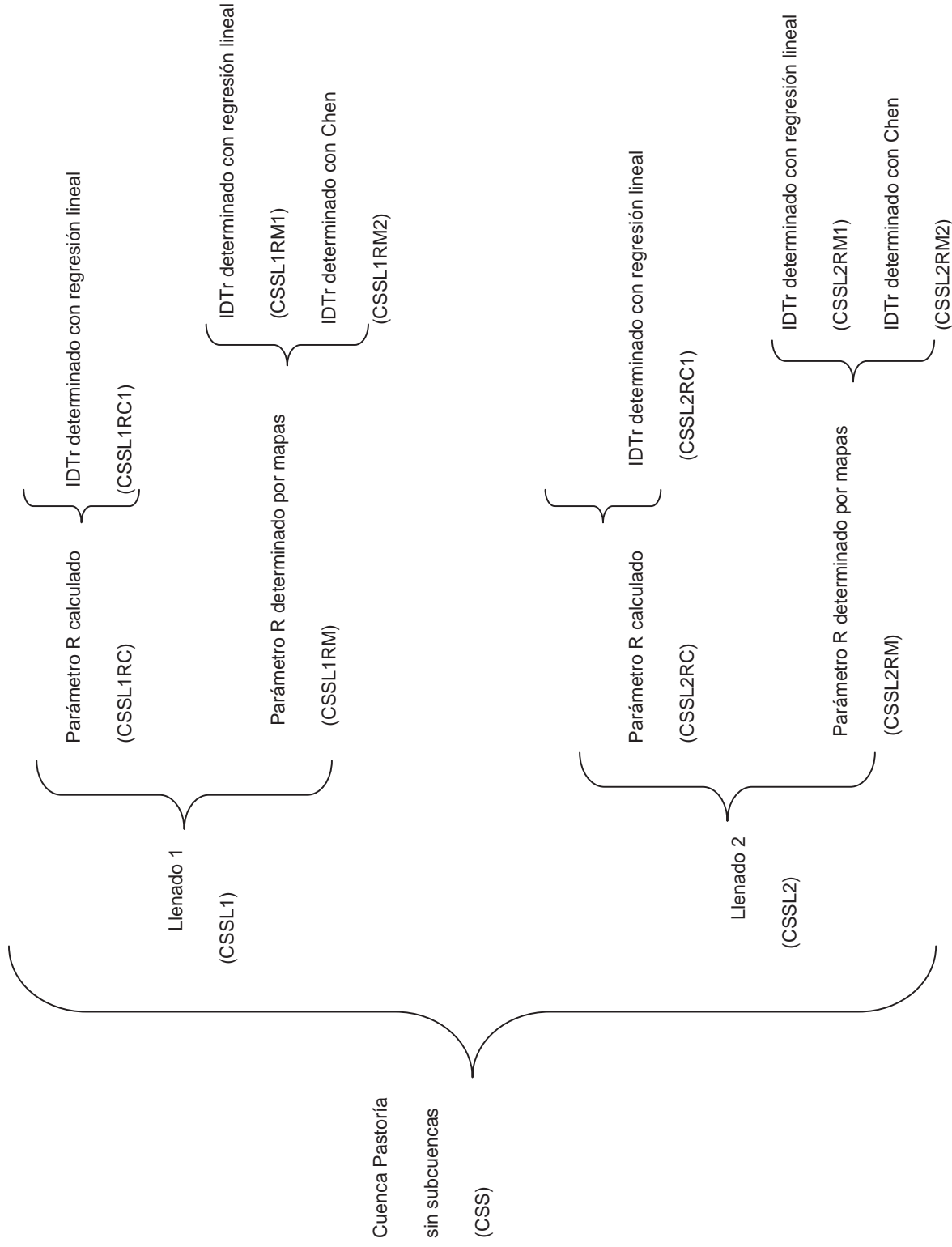
- Cuenca Pastoría con subcuencas (la cuenca Pastoría es desfragmentada o subdividida en subcuencas, de esta manera se toma en consideración las vertientes de la corriente principal y así mismo la evolución de la corriente principal a lo largo de su trayectoria, el estudio hidrológico es más tedioso pero más exacto).

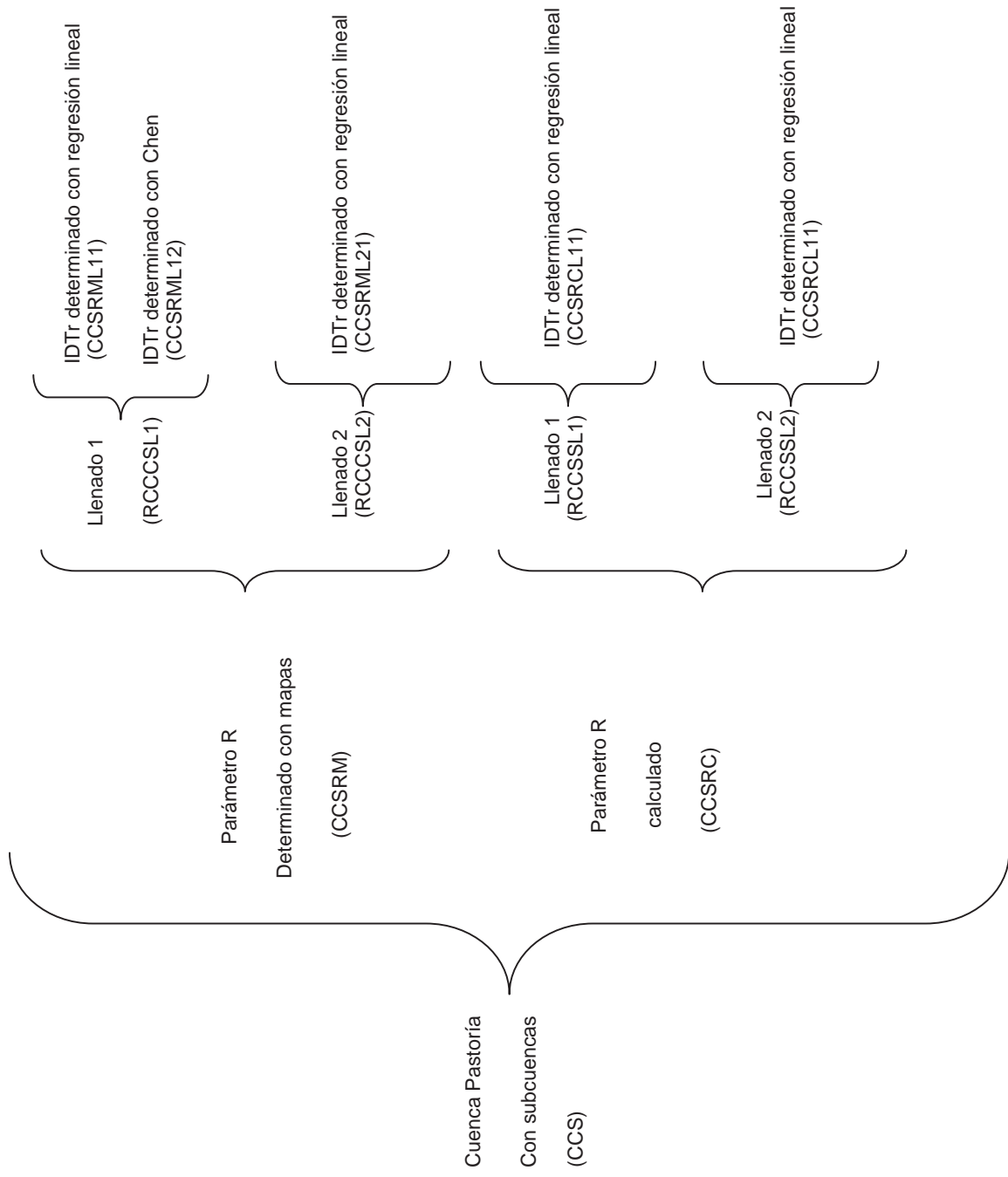


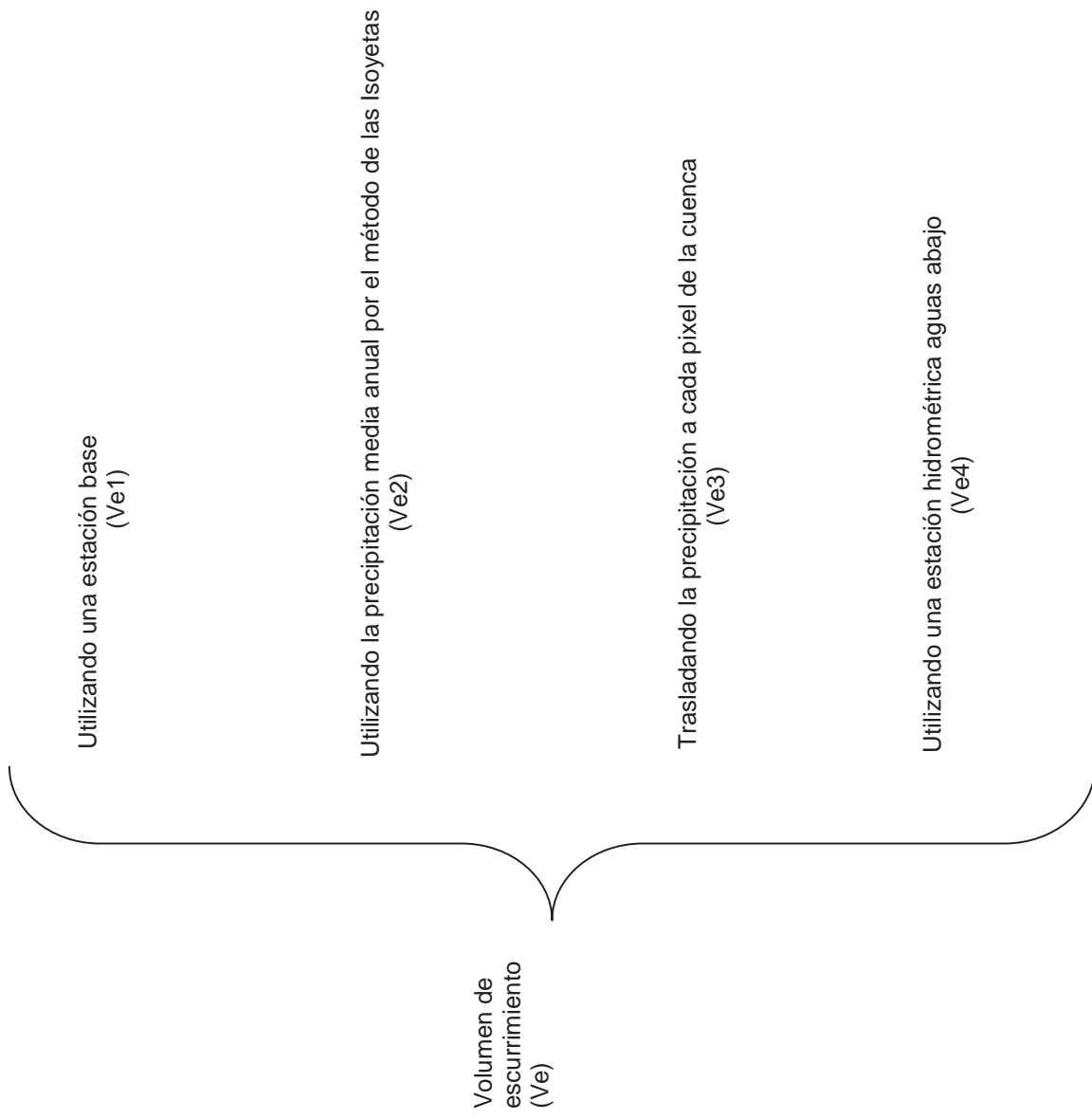
Subcuencas de la cuenca Pastoría

- Parámetro R calculado (se utilizan los procedimientos que dieron resultados más favorables, tanto para subcuencas como para la cuenca total).
- Volumen de escurrimiento (es la determinación del volumen anual del escurrimiento natural por métodos directos e indirectos).

Para la simplificación de la metodología y del análisis, se realizó un cuadro esquemático para el segundo, tercero, cuarto y quinto rubro, mostrándose a continuación.





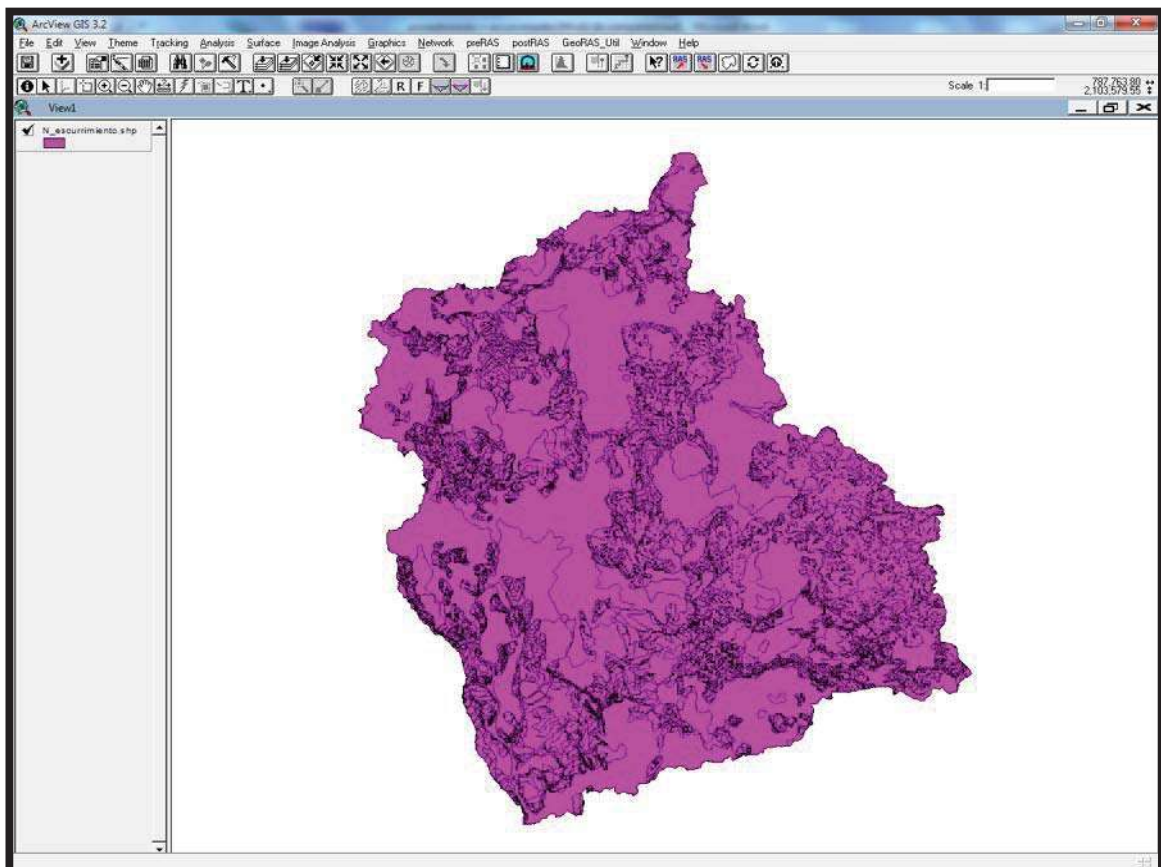


Es necesario calcular ciertos parámetros de las cuencas como son el número de escurrimiento, el parámetro k, precipitación media anual, etc. Los cuales nos permiten el cálculo del objetivo, la determinación de estos parámetros ya ha sido mostrada en otras tesis, pero se muestra de forma unitaria, es decir, para una sola cuenca, por lo cual la metodología se describe, así como la obtención de resultados importantes

6.1.PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ESCURRIMIENTO EN VARIAS CUENCAS

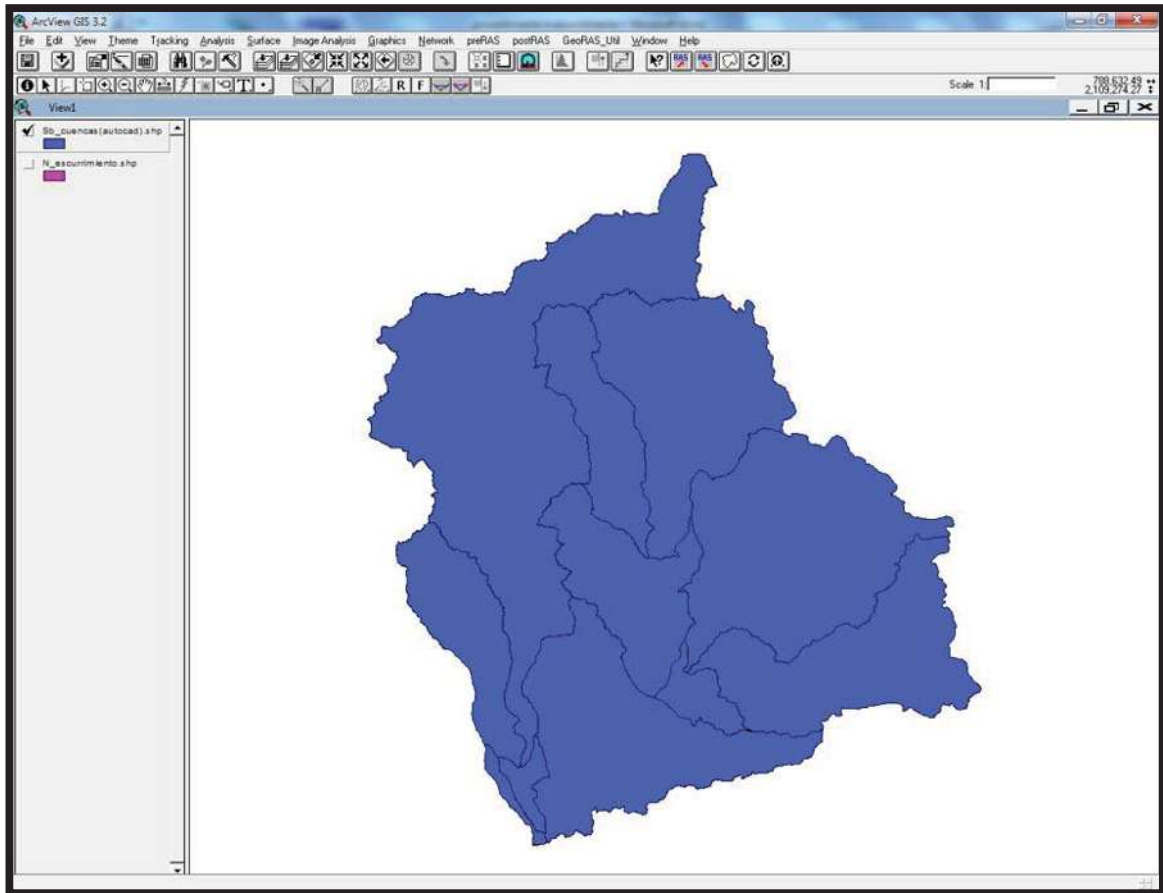
El cálculo del número de escurrimiento por medio de ArcView indudablemente es más preciso y más rápido, pero en ocasiones existe la necesidad de calcular el número de escurrimiento para cuencas vecinas, anteriormente se realizaba cada una de estos cálculos por separado, pero es más factible realizar todo el cálculo como un solo bloque, a continuación se muestra el procedimiento:

Primeramente debemos de tener una figura que cubra todas las cuencas de interés, puede ser una cuenca general que englobe todas las subcuencas como en este caso, un cuadrado, un círculo, un triangulo, etc. Con esta figura debemos de determinar el número de escurrimiento, como se muestra a continuación.



Número de escurrimiento de la cuenca Pastoría en formato shape

Se debe de tener un shape en el cual se tengan las cuencas o subcuencas que se van analizar, en la imagen siguiente se muestran las 11 subcuencas que se analizan.



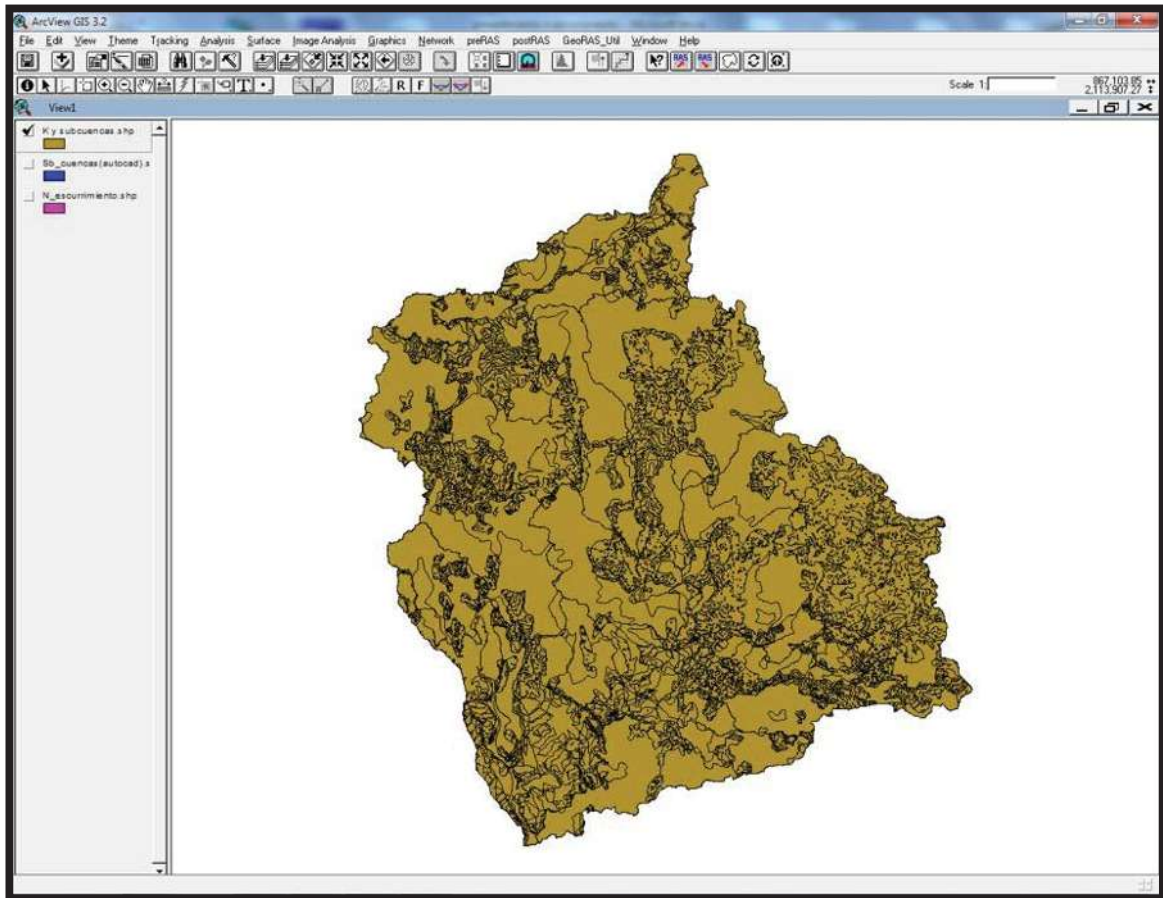
Subcuencas de la cuenca Pastoría.

La tabla de atributos debe de contener como mínimo el nombre de las subcuencas o una referencia propia de la misma que distinga a cada subcuenca, como se muestra a continuación.

Shape	Entity	Layer	Nombre
PolygonZ	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA
PolygonZ	Polyline	CUENCA 3	EL MARQUEZ
PolygonZ	Polyline	CUENCA 9	TEPENAHUA
PolygonZ	Polyline	CUENCA 1	CUPATITZIO
PolygonZ	Polyline	CUENCA 6	LA GUAYABA
PolygonZ	Polyline	CUENCA 4	CAJONES 2
PolygonZ	Polyline	CUENCA 2	ANDANGIO
PolygonZ	Polyline	CUENCA 5	CAJONES 1
PolygonZ	Polyline	CUENCA 8	TOMENDAN
PolygonZ	Polyline	CUENCA 10	SAN JOSE
PolygonZ	Polyline	CUENCA 7	ACUMBARO

Tabla de atributo del shape de subcuencas

Ambos mapas se deben de unir por medio de Geoprocessing, localizado en el menú View, el resultado de esta unión se muestra a continuación.



Unión del parámetro K y subcuencas

Al realizar esta unión, las tablas de atributos también hacen una combinación, de esta forma cada polígono que conforman la cuenca cuenta con atributos independientes, es decir, cada polígono cuenta con un valor del parámetro K y una descripción o clave de la cuenca a la que corresponde, esta unión se muestra a continuación.

Shape	Entity	Layer	Nombre	Id	Gridcode
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17792	89
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17805	89
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17850	80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17852	89
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17865	89
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17868	89
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17870	89
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17871	89
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17872	89
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17875	89
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17990	80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17991	80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17994	80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17995	80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17996	80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17997	89
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18001	80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18002	80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18003	80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18049	80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18054	80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18064	80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18068	80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18097	80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18130	80

Tabla de atributos de la unión del parámetro K y subcuencas.

Se debe de crear dos columnas, los decimales para estas columnas dependen de la precisión con la que se desee hacer el cálculo, en este caso se utilizan 2 decimales, la forma de realizar esto es:

Debemos de estar en la tabla de atributos del shape de la unión del parámetro K y subcuencas, en el menú Table/Start Editing, esto permite editar la tabla, el siguiente paso es ir al menú Edid/Add Field, el cual aparece la siguiente venta.


Agregar una nueva columna a la tabla de atributos

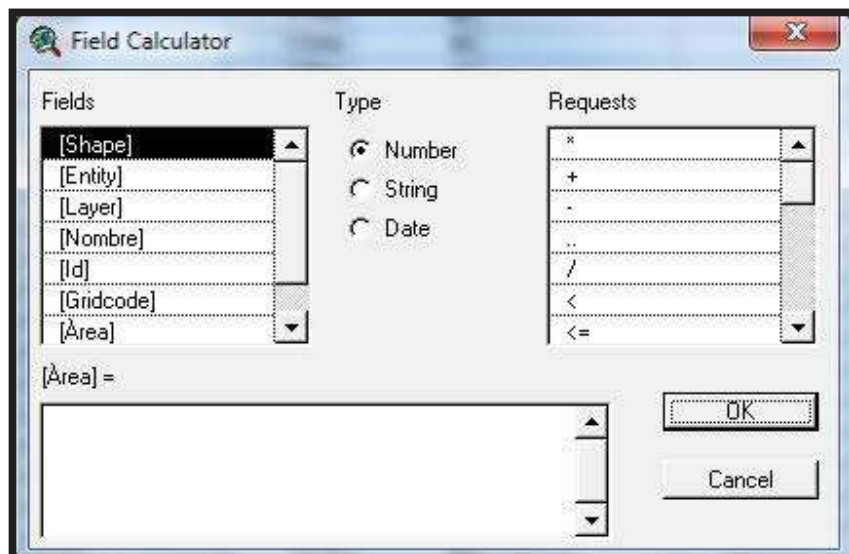
La primera opción que da “Name” se refiere al nombre de la columna, la opción “Type” se refiere al tipo de información, en este caso se queda Number, esto debido a la utilización de números, la tercera opción “Width” es la cantidad o límite de símbolos que se colocarán en la columna, por último “Decimal Places” es la cantidad de decimales a utilizar.

Una vez creadas las columnas “Área” y “Múltiplo”, debemos realizar los cálculos pertinentes como su nombre lo indica, primero, para el área debemos seleccionar la columna “Área”, ver figura siguiente.

Shape	Entity	Layer	Nombre	Id	Gridcode	Área	Múltiplo
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17792	89		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17805	89		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17850	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17852	89		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17865	89		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17869	89		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17870	89		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17871	89		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17872	89		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17875	89		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17980	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17991	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17994	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17995	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17996	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17997	89		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18001	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18002	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18003	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18049	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18054	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18064	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18068	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18097	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18130	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18132	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18134	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18136	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18137	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18140	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18143	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18144	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18149	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18151	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18152	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18155	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18158	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18161	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18162	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18164	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18167	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18169	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18171	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18172	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18173	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18174	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18178	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18179	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18181	80		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18182	89		
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18185	80		

Selección de la columna Área

Se da clic en el icono calculate , abre una ventana como se muestra a continuación.

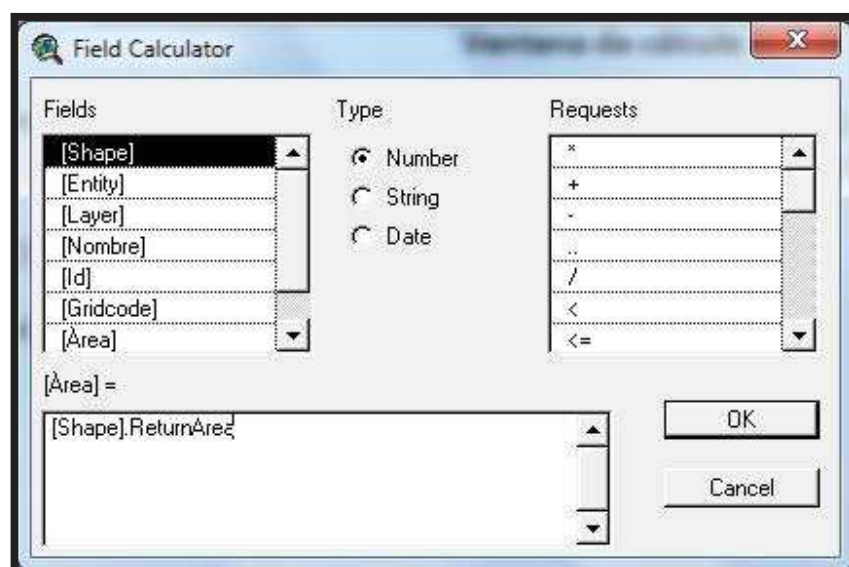


Ventana de cálculo

En la ventana se debe de dar doble clic seguido a la opción [Shape], en el recuadro inferior aparece [Shape], en este recuadro para el cálculo de área es necesario escribir la siguiente fórmula:

[Shape].ReturnArea

Lo anterior se muestra en la siguiente imagen.



Cálculo del Área

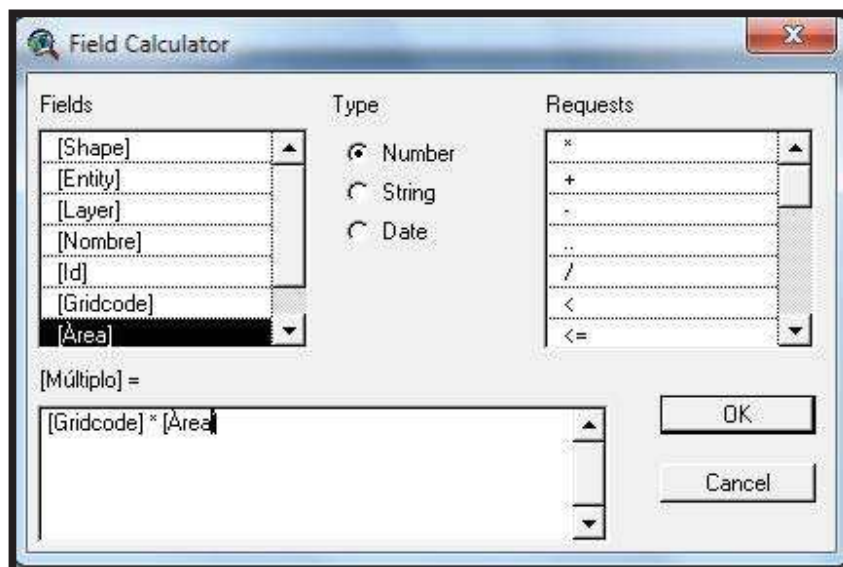
Al aceptar, aparecerá el área de cada polígono, si genera un error de sintaxis, es que la fórmula no se ha escrito bien y se debe de realizar el procedimiento nuevamente.

Para el cálculo en la columna de “Múltiplo”, al igual que en la columna de “Área” se selecciona la columna y se sigue el mismo procedimiento hasta llegar a la ventana de cálculo.

La fórmula que se escribe es:

[Gridcode]*[Área]

Recordar que la columna “Gridcode” contiene el número de escurrimiento.



Cálculo para la columna “Múltiplo”


Al aceptar, la multiplicación del área y del número de escurrimiento aparece en la columna “Múltiplo”, se muestra a continuación el resultado de las columnas “Área” y “Múltiplo”.

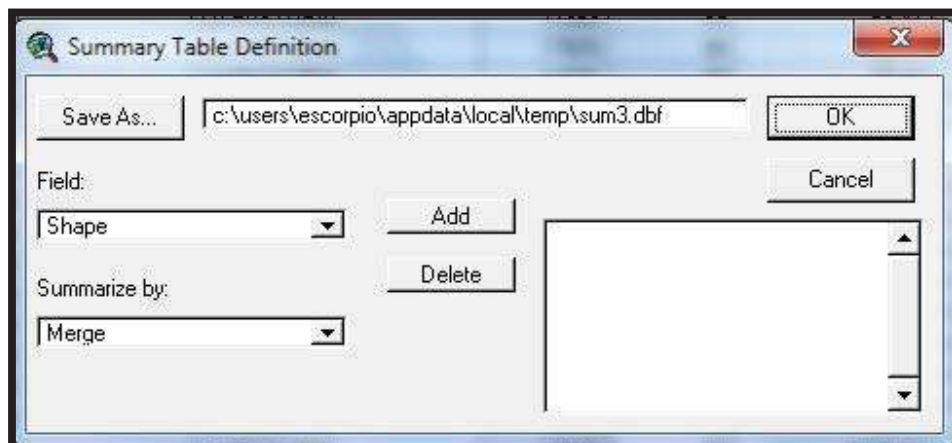
Shape	Entity	Layer	Nombre	Id	Gridcode	Área	Múltiplo
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17732	89	134.97	12012.33
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17805	89	68.47	6093.83
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17850	80	1122.49	89799.20
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17852	89	338354.38	30113538.82
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17865	89	11229.43	999419.27
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17868	89	68.47	6093.83
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17870	89	68.47	6093.83
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17871	89	68.47	6093.83
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17872	89	68.47	6093.83
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17875	89	68.47	6093.83
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17990	80	197.10	15768.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17991	80	97.06	7764.80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17994	80	97.03	7762.40
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17995	80	96.99	7759.20
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17996	80	2532648.49	207427879.20
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	17997	89	808353.72	71943481.08
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18001	80	96.95	7756.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18002	80	96.41	7712.80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18003	80	99.94	7995.20
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18049	80	1020.21	81616.80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18054	80	117804.96	9424296.80
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18064	80	64.04	5123.20
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18068	80	5441.22	435297.60
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18097	80	68.47	5477.60
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18130	80	100.00	8000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18132	80	200.00	16000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18134	80	100.00	8000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18136	80	200.00	16000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18137	80	100.00	8000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18140	80	200.00	16000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18143	80	200.00	16000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18144	80	100.00	8000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18149	80	200.00	16000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18151	80	100.00	8000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18152	80	200.00	16000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18155	80	100.00	8000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18158	80	200.00	16000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18161	80	200.00	16000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18162	80	100.00	8000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18164	80	200.00	16000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18167	80	100.00	8000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18169	80	200.00	16000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18171	80	200.00	16000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18172	80	100.00	8000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18173	80	200.00	16000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18174	80	100.00	8000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18178	80	200.00	16000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18179	80	100.00	8000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18181	80	200.00	16000.00
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18182	89	379115.80	33241306.20
Polygon	Polyline	CUENCA 11	LA PASTORIA	18185	80	200.00	16000.00

Columnas "Área" y "Múltiplo"

Separa la edición de la tabla en el menú Table/Stop Editing, aparece una ventana que pregunta si se desea guardar, se da clic en "Yes".

El siguiente paso es la determinación del número de escurrimiento para cada cuenca, se selecciona la columna que tiene el nombre de la cuenca o la clave de identificación de la cuenca, en este caso, la columna es "Nombre", la cual contiene el nombre de cada cuenca.

Damos clic en el ícono summarize , este abre una ventana como se muestra a continuación, la finalidad es realizar una suma por separado de cada una de las cuencas.



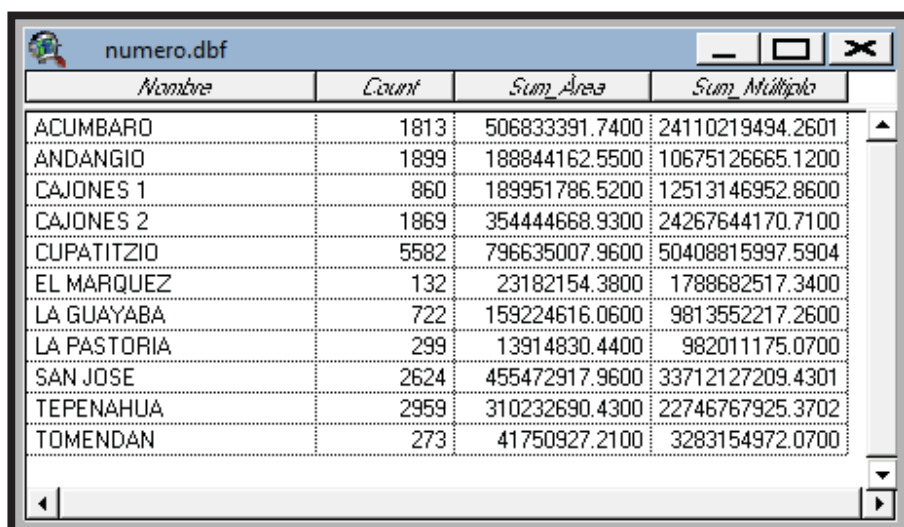
Ventana para la creación de un nuevo archivo .dbase

El botón "Save As..." permite guardar el archivo en una nueva dirección y con un nuevo nombre, en la opción "Field" se encuentra un desplegable, en el cual se localizan las columnas con excepción de la seleccionada, en ésta se selecciona la columna "Área", en la opción "Summarize by" se encuentra un desplegable el cual muestra diversos cálculos, en este se selecciona "Sum", ya que lo que se desea es una suma de todas las áreas correspondientes a cada cuenca por separado. En seguida se da clic en el botón "Add" para agregar la operación anteriormente mencionada, en la opción "Field" se selecciona ahora la columna "Múltiplo", y después se da clic en el botón "Add", en la figura siguiente se muestra lo anterior.



Cálculo de las sumas de las columnas "Área" y "Múltiplo"

Cuando se acepta en "OK" el resultado es un nuevo archivo .dbase, el cual contiene las sumas por separado de cada cuenca, como se muestra a continuación.



<i>Nombre</i>	<i>Count</i>	<i>Sum_Área</i>	<i>Sum_Múltiplo</i>
ACUMBARO	1813	506833391.7400	24110219494.2601
ANDANGIO	1899	188844162.5500	10675126665.1200
CAJONES 1	860	189951786.5200	12513146952.8600
CAJONES 2	1869	354444668.9300	24267644170.7100
CUPATITZIO	5582	796635007.9600	50408815997.5904
EL MARQUEZ	132	23182154.3800	1788682517.3400
LA GUAYABA	722	159224616.0600	9813552217.2600
LA PASTORIA	299	13914830.4400	982011175.0700
SAN JOSE	2624	455472917.9600	33712127209.4301
TEPENAHUA	2959	310232690.4300	22746767925.3702
TOMENDAN	273	41750927.2100	3283154972.0700

Suma de las columnas con respecto a cada cuenca

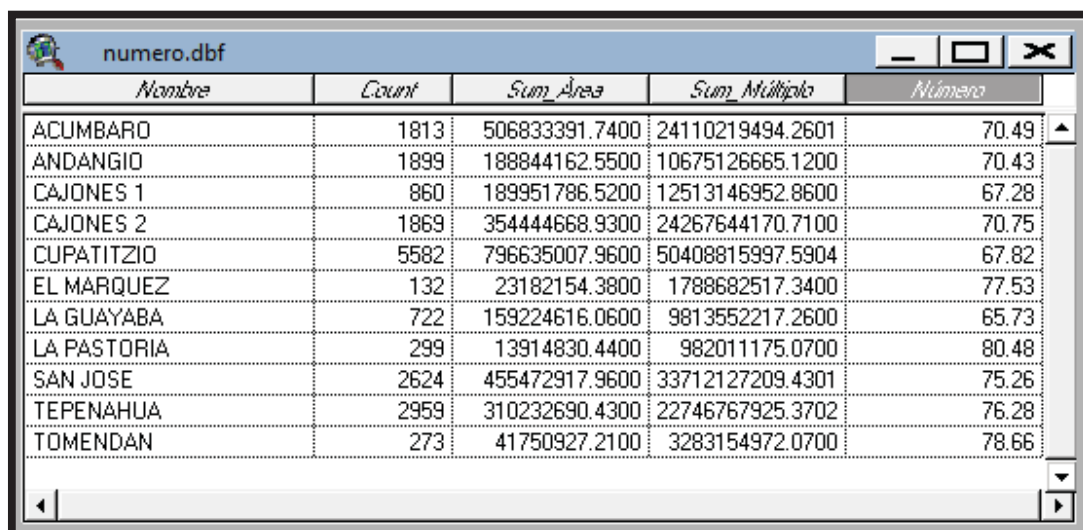
El siguiente paso es realizar una división de la columna que contiene la suma de la multiplicación y la columna de la suma del área, las cuales aparecen como “Sum_Múltiplo” y “Sum_Área” correspondientemente.

La columna se llamará “Número”, debido a que este es el número de escurrimiento de la cuenca, e igual que anteriormente solo se utiliza dos decimales.

La fórmula a utilizar en esta columna es:

$$[\text{Sum_Múltiplo}]/[\text{Sum_Área}]$$

El resultado de los números de escurrimiento se muestra a continuación.



<i>Nombre</i>	<i>Count</i>	<i>Sum_Área</i>	<i>Sum_Múltiplo</i>	<i>Número</i>
ACUMBARO	1813	506833391.7400	24110219494.2601	70.49
ANDANGIO	1899	188844162.5500	10675126665.1200	70.43
CAJONES 1	860	189951786.5200	12513146952.8600	67.28
CAJONES 2	1869	354444668.9300	24267644170.7100	70.75
CUPATITZIO	5582	796635007.9600	50408815997.5904	67.82
EL MARQUEZ	132	23182154.3800	1788682517.3400	77.53
LA GUAYABA	722	159224616.0600	9813552217.2600	65.73
LA PASTORIA	299	13914830.4400	982011175.0700	80.48
SAN JOSE	2624	455472917.9600	33712127209.4301	75.26
TEPENAHUA	2959	310232690.4300	22746767925.3702	76.28
TOMENDAN	273	41750927.2100	3283154972.0700	78.66

Cálculo del número de escurrimiento

El procedimiento anterior se puede realizar tanto para la determinación del parámetro K, así como la determinación de la precipitación media anual, este procedimiento puede ser usado para cualquier cálculo en el cual el procedimiento sea repetitivo.

6.2. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

El coeficiente de escurrimiento se determina a partir del tipo y uso de suelo, mediante el empleo de las cartas editadas por el INEGI y del conocimiento de la zona de estudio. Así, para nuestro caso se tiene un suelo tipo B, seguido el tipo C, después el tipo D y el suelo que predomina es el tipo B. El uso de suelo es: bosque-espeso, bosque-normal, pastizal, surcos rectos y zona urbana.

Con la consideración anterior y el valor del Parámetro K (obtenido anteriormente), el coeficiente de escurrimiento se puede determinar con alguna de las ecuaciones indicadas en la tabla siguiente:

K: PARÁMETRO QUE DEPENDE DEL TIPO Y USO DEL SUELO	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO ANUAL (Ce)
SI K RESULTA MENOR O IGUAL QUE 0.15	$C_e = k(P-250)/2000$
SI K ES MAYOR QUE 0.15	$C_e = k(P-250)/2000 + (K-0.15)/1.5$

Fórmula para calcular el coeficiente de escurrimiento en función del parámetro K

Donde:

P Precipitación anual expresada en mm
 C_e Coeficiente de escurrimiento

6.3. PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE NATURAL

La pendiente media del cauce principal de la cuenca, se obtiene con la ayuda de las herramientas AUTOCAD y CIVILCAD. El resultado final es una gráfica que contiene el perfil longitudinal del fondo.

Este perfil nos indica tres tramos diferenciados del cauce principal, el primero corresponde a un río de montaña y el segundo a un río de planicie, seguido de un río de transición.

Una vez determinado el perfil longitudinal se utiliza el criterio de Taylor-Schwarz para estimar el valor de la pendiente media del cauce, según la fórmula siguiente:

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

Donde:

- S Pendiente del cauce principal.
n Número de tramos en que se divide la longitud del cauce principal.
s_n Pendiente del tramo 1 a n.
l_n Longitud del tramo 1 a n, en Km.
L Longitud total del cauce principal, en Km.

6.4. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (T_c)

El tiempo de concentración (t_c), es el tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio, y equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca. Su valor depende de la longitud máxima que debe recorrer el agua hasta la salida de la cuenca y de la velocidad que adquiere, en promedio, dentro de la misma. Ésta velocidad es función de la pendiente del terreno, la de los cauces, y de la rugosidad de la superficie. El tiempo de concentración se calcula mediante la ecuación de Kirpich, a saber:

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

- S Pendiente del cauce principal (m/m).
L Longitud del cauce principal, en m.
t_c Tiempo de concentración, en h.

6.5. TIEMPO DE RETRASO (T_r)

El tiempo de retraso T_r, que se puede encontrar en el HEC HMS como T_g, es calculado por medio de la siguiente expresión, la cual puede ser consultada en el libro "Fundamentos de hidrología de superficie".

$$T_r = 0.6 * T_c$$

Donde

- T_r Tiempo de retraso

Tc Tiempo de concentración

6.6. AJUSTES DE FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN

En este apartado se realizaron los cálculos con ayuda de software AX (Ajustes Funciones de Probabilidad versión 1.05) creado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres, Facultad de Ingeniería de la UNAM, dicho software analiza los datos históricos y los ajusta a una distribución probabilística.

6.7. GENERALIDADES DE LOS CUADROS ESQUEMÁTICOS

6.7.1. LLENADO 1

En este llenado se selecciona una estación base, la selección de la estación base se realiza a partir de los argumentos siguientes:

- Más cercana a la cuenca en estudio.
- Sus registros contengan información reciente.
- El periodo de los registros sea suficientemente amplio o superior a 15 años.
- Registros con la menor cantidad de vacíos y evitar el llenado de datos para lograr un alto grado de confiabilidad en los mismos.

Una vez seleccionada la estación, es necesario realizar consistencia de datos, el análisis de consistencia de datos tiene el propósito de establecer la correlación entre la estación base y las estaciones circundantes. Con la finalidad de detectar algún cambio en las condiciones de medición debido a un cambio en el operador o de localización de los aparatos, o bien de las condiciones circundantes.

El procedimiento para evaluar la consistencia de datos consiste en graficar la precipitación acumulada de la estación base en el eje de las ordenadas y localizar en el eje de las abscisas la precipitación acumulada de las estaciones circundantes. Hecho lo anterior se identifica en la gráfica algún cambio en la pendiente de línea recta que une los puntos de precipitación, si fuera así indicaría que la estación comenzó a operar en otras condiciones diferentes a partir del año en el que se presenta dicho cambio de pendiente.

Para iniciar el llenado de datos es necesario conocer la correlación espacial mensual de la estación base frente a las estaciones circundantes. Encontrada la estación con la que se tiene buena correlación se establece un modelo de regresión lineal para el llenado, para cada mes.

Si la correlación no es buena se puede emplear cualquiera de los dos siguientes métodos:

- Si la precipitación media anual en cada una de las estaciones circundantes difiere en menos del 10% de la registrada en la estación en estudio, los datos faltantes se estiman haciendo un promedio aritmético de los registrados en las estaciones circundantes.
- Si la precipitación media anual de cualquiera de las estaciones circundantes difiere en más de 10%, se usa la fórmula:

$$h_{px} = \frac{1}{n} \left[\frac{p_x}{p_1} h_{p1} + \frac{p_x}{p_2} h_{p2} + \dots + \frac{p_x}{p_n} h_{pn} \right]$$

Donde:

h_{pi} = altura de precipitación registrada el día en cuestión en la estación auxiliar i .

h_{px} = altura de precipitación faltante en la estación en estudio.

P_i = precipitación media anual en la estación auxiliar i .

P_x = precipitación media anual en la estación en estudio.

n = número de estaciones auxiliares.

6.7.2. PARÁMETRO R CALCULADO

Transferencia de la información hidrológica de la estación base a la cuenca. Se emplean tres diferentes coeficientes de transferencia a la precipitación diaria o precipitación 24 horas que mejor ajustó, es decir a los valores de precipitación obtenidos con la distribución que mejor ajuste, para las estaciones base, $P_{d=24 \text{ horas}}^{Tr=2 \text{ años}}$, $P_{d=24 \text{ horas}}^{Tr=100 \text{ años}}$, $P_{d=24 \text{ horas}}^{Tr=1,000 \text{ años}}$, $P_{d=24 \text{ horas}}^{Tr=10,000 \text{ años}}$

1. Coeficiente de Transferencia por Posición, R1 o R2.

$$R1 = \frac{P_{cuenca_{CG}}}{P_{estacion \ base}}$$

$$R2 = \frac{P_{cuenca_{Isoyetas}}}{P_{estacion \ base}}$$

2. Coeficiente de Transferencia por Área, R3.

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

3. Coeficiente de Transferencia por Observación, R4.

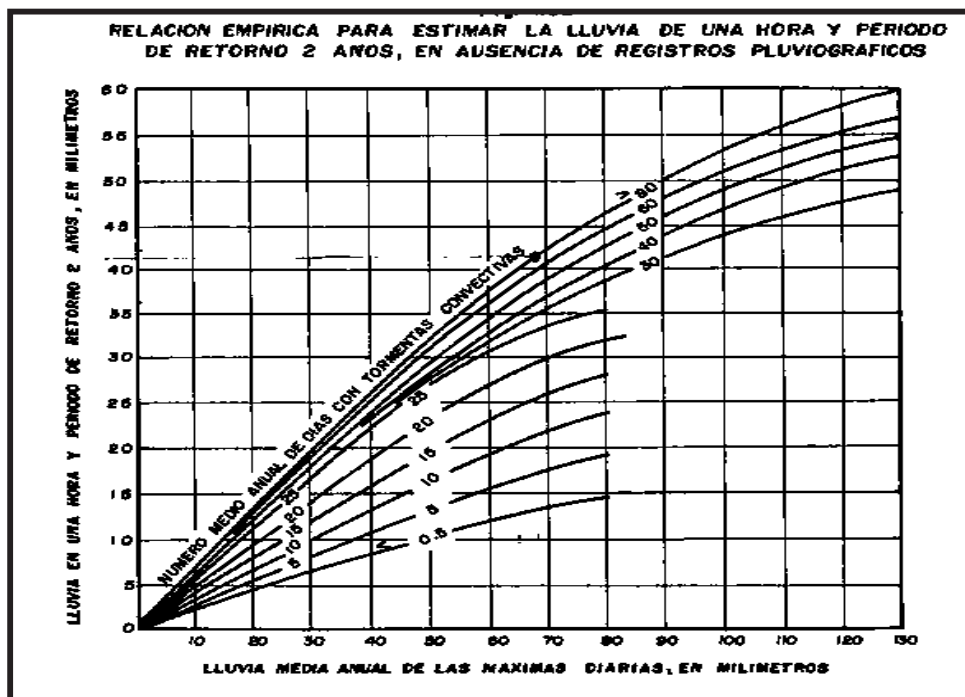
$$R4 = 1.13$$

Para estimar los escurrimientos se requiere conocer la intensidad de la precipitación asociada a una duración de tormenta, se procede a transformar la precipitación máxima 24 horas, en registros de corta duración. Para ello es necesario definir un cociente R para la 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, 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 siguiente, en donde se ingresa con la lluvia media máxima anual de la estación base; y el máximo número de días con lluvias mayores de 1mm de la estación base.



Relación empírica para estimar la lluvia de una hora y periodo de retorno 2 años

De manera optativa se pueden utilizar las ecuaciones siguientes, las cuales se determinaron realizando varias lecturas para cada curva y ajustando una ecuación polinómica.

Nº medio anual de lluvias convectivas	Lluvia en una hora y Tr 2 años
0.5	$y = (-0.0045x^3 - 0.053x^2 + 218.26x + 100) / 1000$
5	$y = (-0.0121x^3 + 0.7792x^2 + 254.84x + 196.43) / 1000$
10	$y = (-0.0247x^3 + 2.1147x^2 + 285.29x + 278.57) / 1000$
15	$y = (-0.0299x^3 + 2.5427x^2 + 332.23x + 557.14) / 1000$
20	$y = (-0.0328x^3 + 2.6523x^2 + 390.71x + 784.03) / 1000$
25	$y = (-0.041x^3 + 2.1618x^2 + 530.13x + 60.714) / 1000$
30	$y = (0.0071x^3 - 3.6554x^2 + 741.75x - 1089.2) / 1000$

Nº medio anual de lluvias convectivas	Lluvia en una hora y Tr 2 años
40	$y = (0.0001x^3 - 2.0524x^2 + 677.56x - 513.99)/1000$
50	$y = (-0.0049x^3 - 1.309x^2 + 680.25x - 764.62)/1000$
60	$y = (-0.0056x^3 - 1.3233x^2 + 706.47x - 418.18)/1000$
80	$y = (-0.005x^3 - 1.4803x^2 + 742.6x - 789.51)/1000$

Ecuaciones para la determinación de una lluvia de una hora a un periodo de retorno de 2 años

La literal X en las ecuaciones corresponde hacer la lluvia media anual de las máximas diarias, en milímetros, en cuanto a la literal Y, corresponde a ser la lluvia en una hora y periodo de retorno de 2 años en milímetros.

El valor entre las curvas se obtiene a partir de una interpolación lineal de los resultados de las dos curvas entre las que se encuentra el número medio anual de lluvias convectivas que se busca.

- i) Se determina el cociente R para la cuenca , $R = \frac{P_{d=1hora}^{Tr=2años}}{P_{d=24horas}^{Tr=2años}}$, donde $P_{d=24horas}^{Tr=2años}$ es la precipitación de 24 horas para un periodo de retorno de dos años, determinado para la cuenca. La $P_{d=1hora}^{Tr=2años}$, es la precipitación 1 hora para un periodo de retorno de dos años, determinado para la estación base.

6.7.3. IDTr DETERMINADO CON REGRESIÓN LINEAL

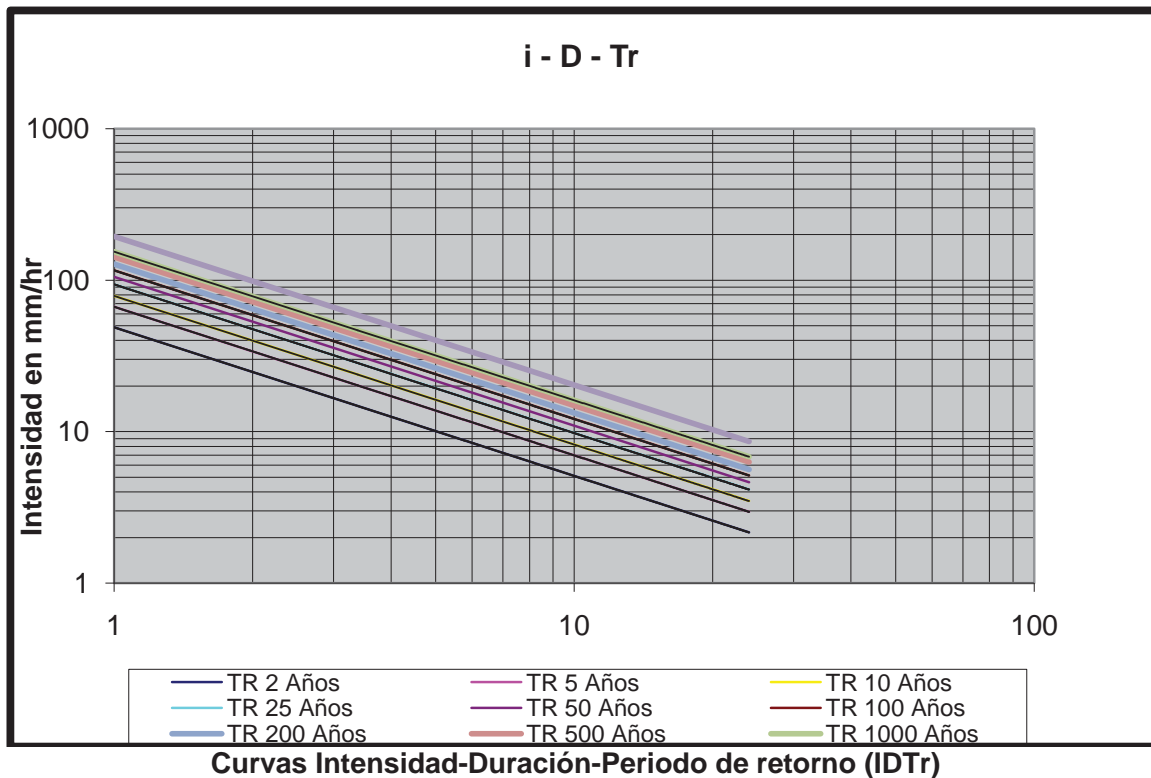
Se determina la precipitación para una duración d=2 hora, para los diferentes periodos de retorno propuestos como sigue:

$$P_{d=1h}^{Tr= años}$$

Finalmente se interpolan los valores entre la precipitación de 1 horas y la precipitación de 24 horas para el mismo periodo de retorno. Los resultados de la interpolación para el mismo periodo de retorno permiten formar las curvas =P-d-Tr para la cuenca.

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 (IDTr), 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.



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.

6.7.4. PARÁMETRO R DETERMINADO POR MAPAS

La información necesaria para la realización de este método son los mapas de isoyetas de intensidades con duración de 60 minutos, y periodos de retorno de 10, 25, y 50 años, con los cuales se obtienen los cocientes de lluvia-duración (R), con la formula:

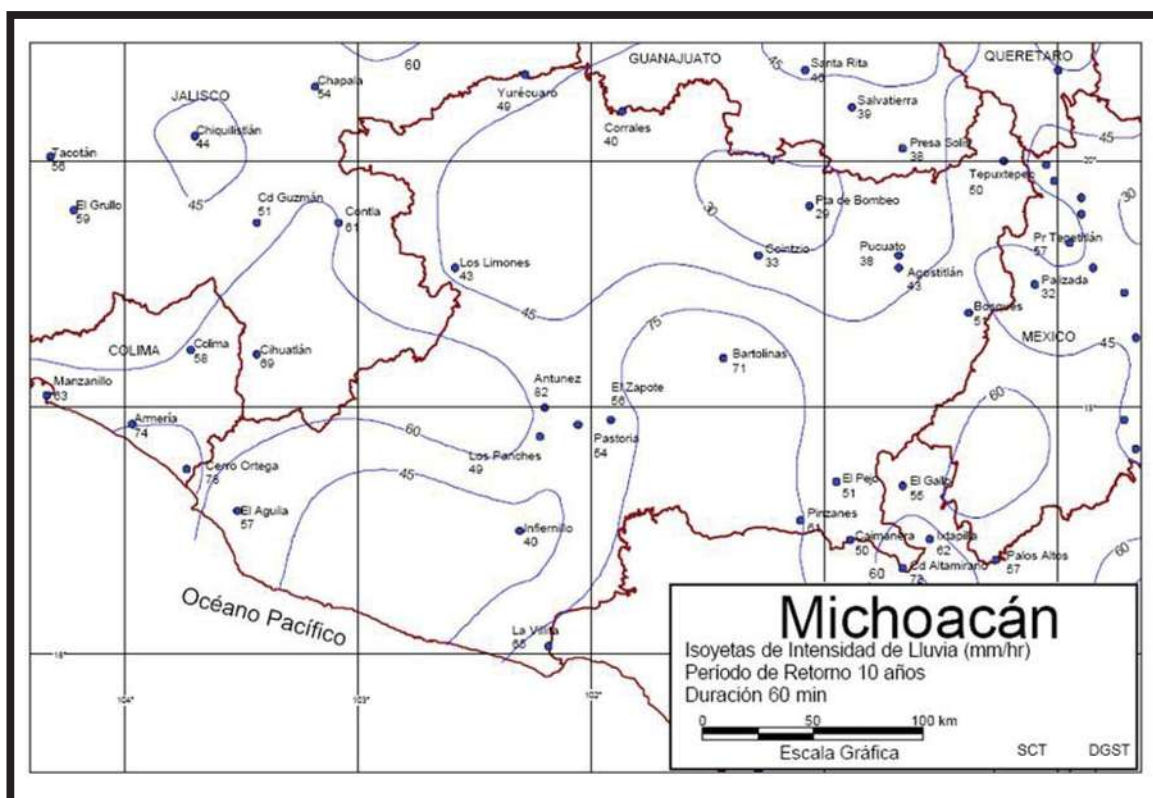
$$R = \frac{P_1^{Tr}}{P_{24}^{Tr}}$$

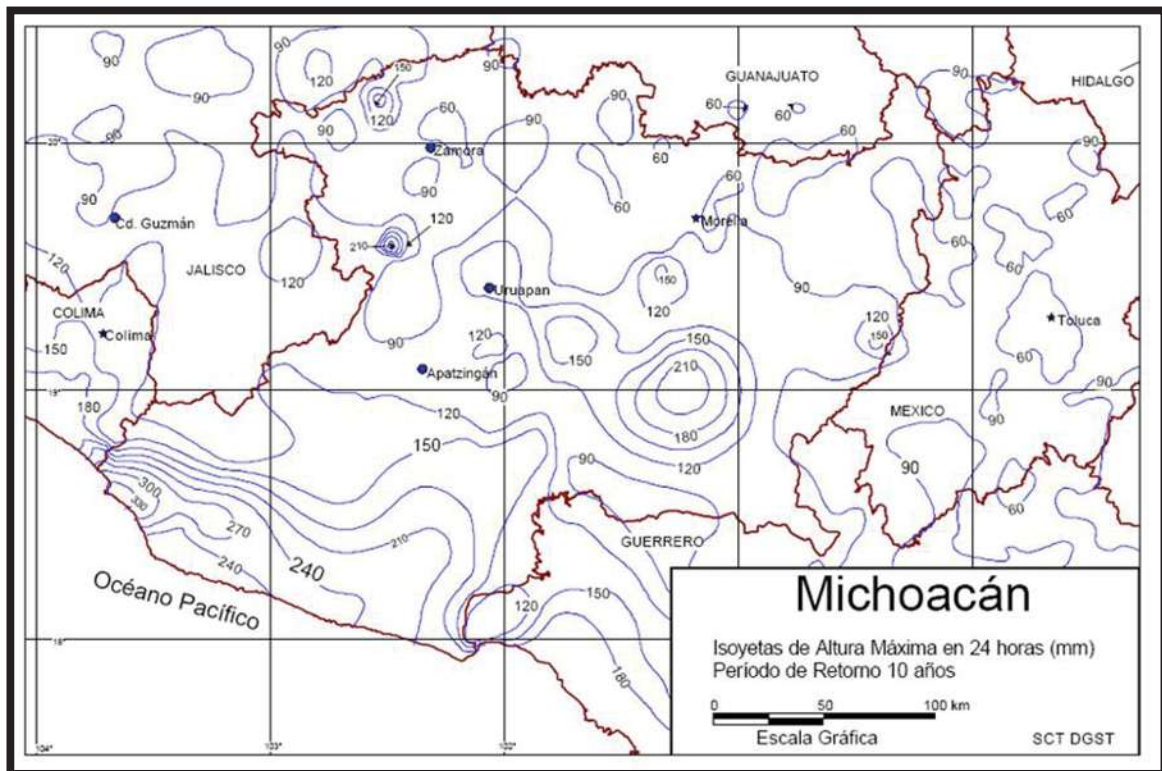
La Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) presenta los mapas de isoyetas del estado de Michoacán para las siguientes tiempos: 10, 30, 60, 120, 240 minutos con periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.

Una vez determinados los 3 parámetros se realiza un promedio, y de esta manera se obtiene el parámetro R.

El parámetro R utilizado en esta tesis solo fue determinado con el periodo de retorno de 10 años, ya que en el momento de su realización no se contaba con la información disponible, la cual se puede encontrar en la página http://dgst.sct.gob.mx/fileadmin/pdfs/isoyetas/iso_mich.pdf.

Los mapas utilizados de muestran a continuación.





Utilizando los anteriores mapas, la información es trasladada en formato shape para ser utilizada en ArcView como a continuación se describe.

Para lo anterior se utiliza la extensión ImageWarp 2.0, la cual se describe en los anexos la utilización.


Una vez que el mapa ha sido referenciado con la extensión ImageWarp 2.0, se procede a realizar sobre cada línea un shape de línea.

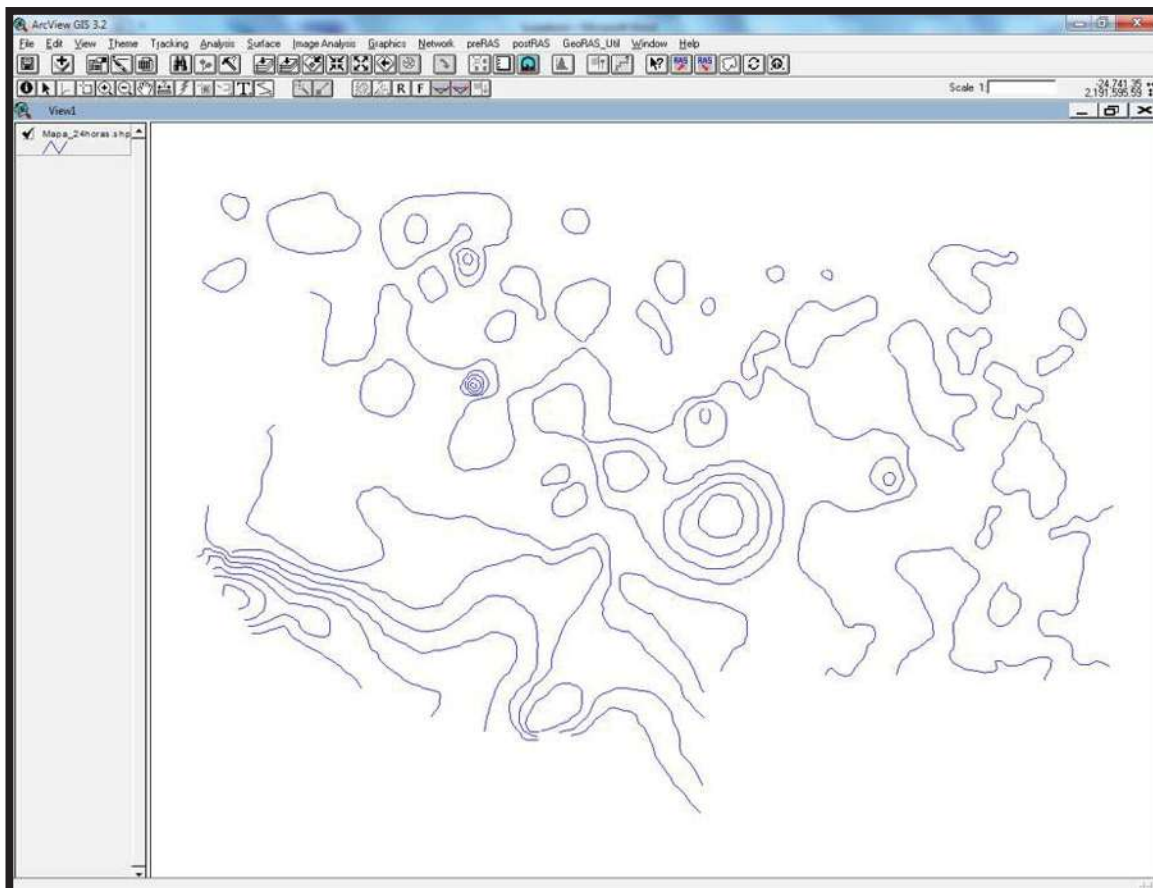
La forma de realizar lo anterior es en el menú View de la ventana de trabajo, en la cual se encuentra New Theme..., al dar clic aparece una ventana en la cual se selecciona la opción de Line, como se muestra a continuación.



Creación de un nuevo tema

Enseguida se coloca la dirección donde se guarda el archivo.

El siguiente paso es dar clic en el icono Draw Line , el cual nos permite crear líneas sobre la imagen y de esta manera generar las isoyetas, el resultado de las isoyetas se muestra a continuación.



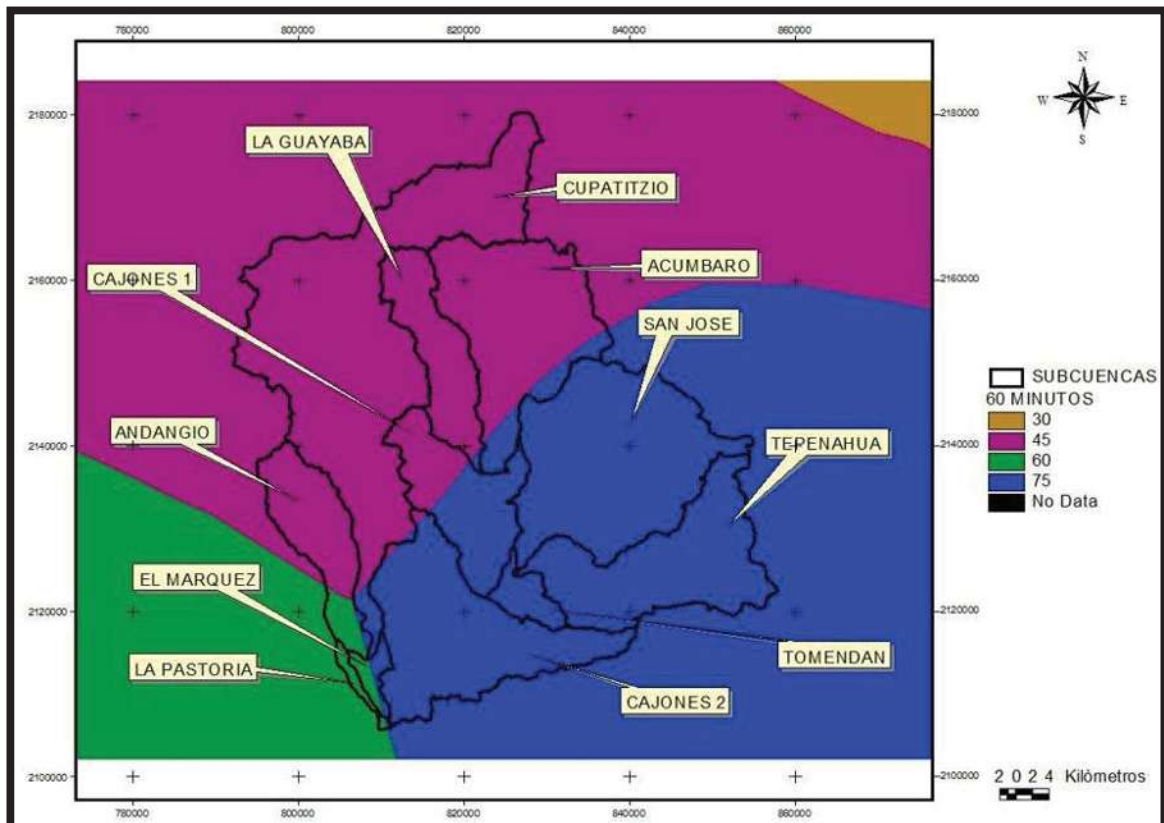
Isoyetas de altura máxima en 24 horas

Con respecto a la figura o imagen del mapa se da las elevaciones a cada línea de forma manual, la manera de realizar esto es ir a la tabla de atributos, donde se agrega una columna con el nombre de “precipitación”, en la cual se colocará la altura de precipitación correspondiente, el resultado se muestra a continuación.

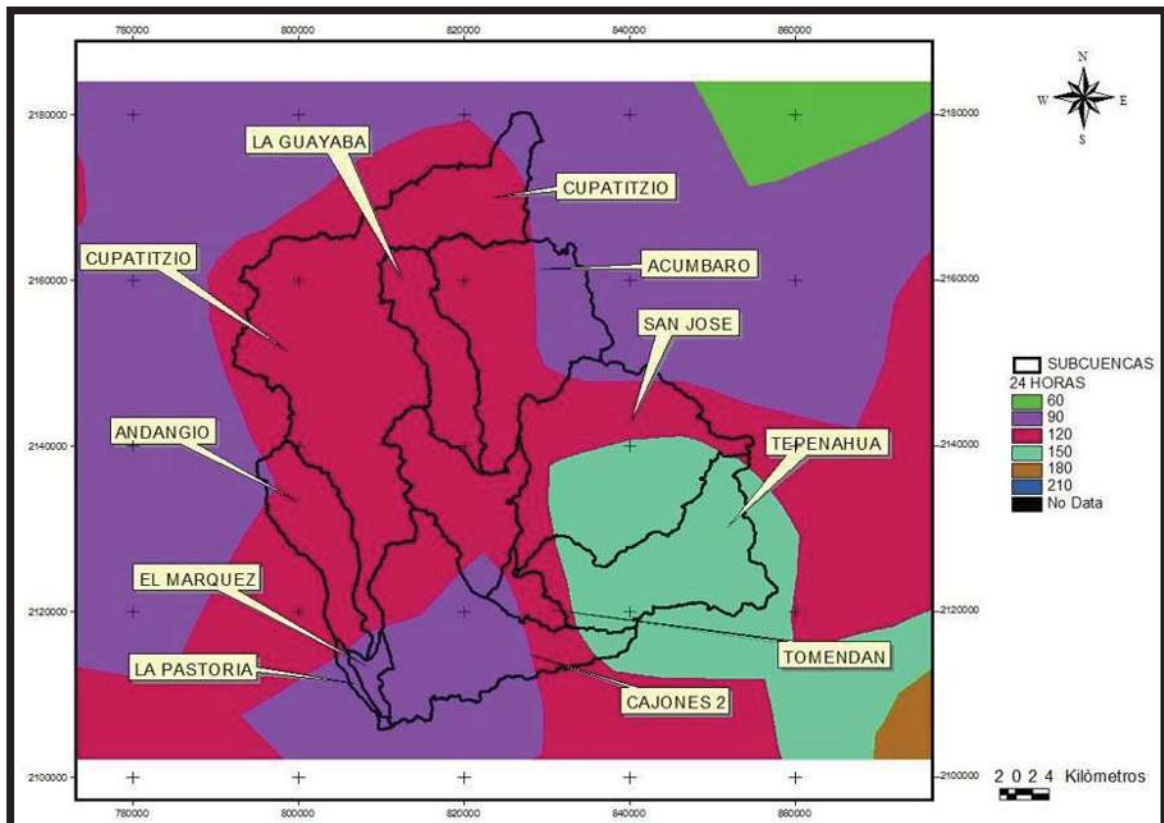
Shape	FID	Precipitacion
PolyLine	0	90
PolyLine	0	90
PolyLine	0	120
PolyLine	0	150
PolyLine	0	120
PolyLine	0	90
PolyLine	0	90
PolyLine	0	90
PolyLine	0	120
PolyLine	0	90
PolyLine	0	210
PolyLine	0	180
PolyLine	0	150
PolyLine	0	120
PolyLine	0	120
PolyLine	0	90
PolyLine	0	210
PolyLine	0	180
PolyLine	0	150
PolyLine	0	150
PolyLine	0	90
PolyLine	0	60
PolyLine	0	60
PolyLine	0	60
PolyLine	0	60
PolyLine	0	90
PolyLine	0	60
PolyLine	0	90
PolyLine	0	60
PolyLine	0	60
PolyLine	0	60
PolyLine	0	60
PolyLine	0	60
PolyLine	0	60
PolyLine	0	60
PolyLine	0	60
PolyLine	0	90
PolyLine	0	90
PolyLine	0	60
PolyLine	0	90
PolyLine	0	90
PolyLine	0	300
PolyLine	0	330
PolyLine	0	270
PolyLine	0	240
PolyLine	0	120
PolyLine	0	90
PolyLine	0	150
PolyLine	0	120
PolyLine	0	150
PolyLine	0	120
PolyLine	0	60
PolyLine	0	240

Columna de precipitación

Enseguida se realiza la aproximación de cada una de las isolineas, se selecciona el tema de líneas creado, enseguida en el menú Analysis/Assign proximiry, se puede colocar la calidad que se desea, el procedimiento es el mismo utilizado en los polígonos de Thiessen o Isoyetsm, el resultado se muestra a continuación.



Isoyetas de altura máxima en 1 hora



Isoyetas de altura máxima en 24 horas

Para obtener el parámetro R para cada cuenca, se realiza el procedimiento descrito en el número de escurrimiento.

6.7.5. LLENADO 2

Se obtiene la distancia de las estaciones con respecto al lugar donde se va a trasladar la precipitación, utilizando la ecuación euclidiana, es decir la distancia Euclidiana (es la distancia entre dos puntos del espacio euclídeo equivale a la longitud del segmento de recta que los une, expresado numéricamente).

$$d = \sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2 + (Z_0 - Z_1)^2}$$

Donde

d Distancia euclidiana

X_0, Y_0, Z_0 Coordenadas de un punto en el espacio donde se desea trasladar la precipitación.

X_1, Y_1, Z_1 Coordenadas del punto al que se desea saber la distancia.

Con la distancia euclidiana se determina el porcentaje de afectación de la estación con respecto al punto o lugar donde se desea trasladar la precipitación.

$$W_j = \frac{\frac{1}{d_{0j}^2}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{d_{0j}^2}}$$

Donde

W_j porcentaje de distancia

Con el porcentaje de distancia se puede trasladar la precipitación de las estaciones involucradas en la determinación del W_j , realizando una multiplicación del porcentaje con la precipitación que se quiere trasladar.

El método permite la utilización de varias estaciones alrededor de la cuenca, si la estación está muy retirada, la influencia del traslado es mínima, es decir, las estaciones más cercanas al punto de traslado son las que tienen mayor influencia, el requisito para la utilización de este método consiste en tener como mínimo dos estaciones.

6.7.6. IDTr DETERMINADO CON CHEN

En este método las precipitaciones de lluvia máxima diaria de periodos de retorno se multiplican por 1.13 para convertirla en P_{24}^{Tr} , con las cuales se obtiene la lluvia-frecuencia (F) necesario para aplicar la fórmula de CHEN.

$$F = \frac{P_{24}^{100}}{P_{24}^{10}}$$

Para obtener las gráficas expresadas por CHEN se calculan los parámetros a, b y c, con las ecuaciones:

$$a = 21.03453 - 186.4683R + 825.4915R^2 - 1084.846R^3 + 524.06R^4$$

$$b = 3.487775 - 68.13976R + 389.4625R^2 - 612.4041R^3 + 315.8721R^4$$

$$c = 0.2677553 - 0.9481759R + 2.109415R^2 - 4.827012R^3 + 2.459584R^4$$

Éstas ecuaciones son válidas en el rango de $0.20 \leq R \leq 0.70$

Los parámetros son aplicados en la fórmula de CHEN.

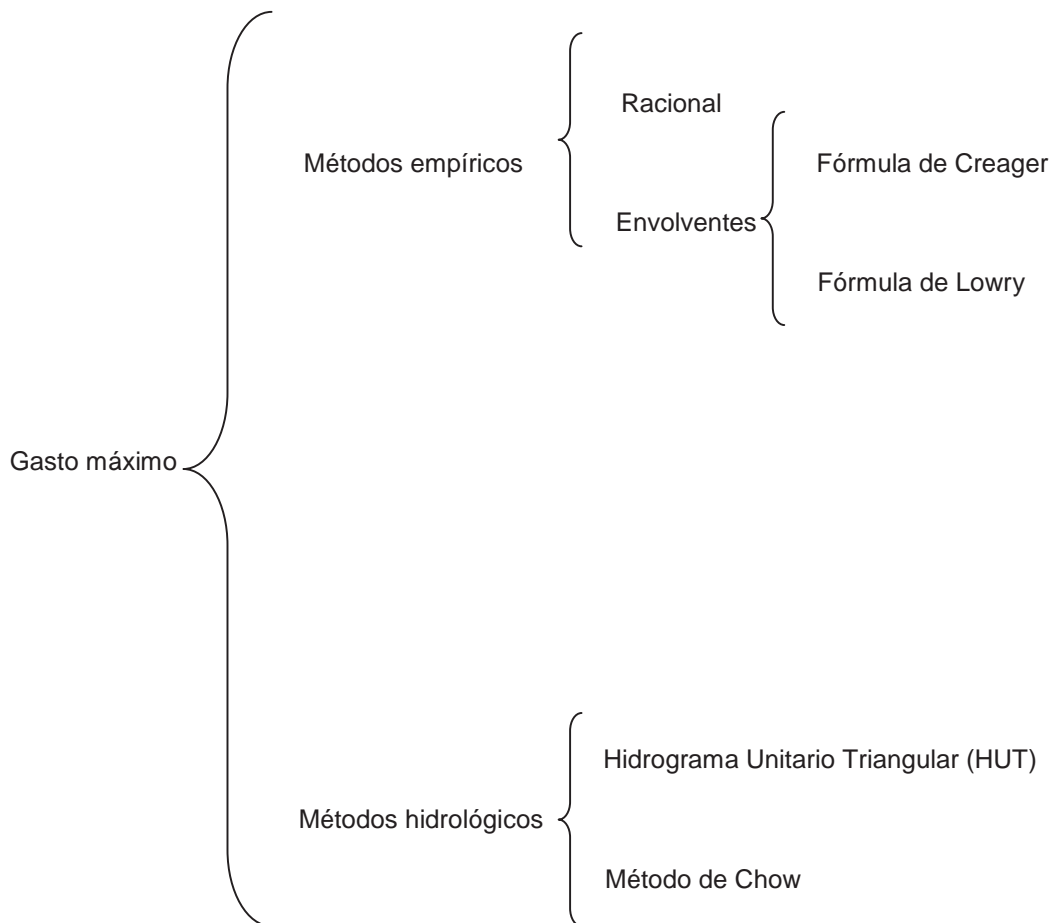
$$i_D^{Tr} = \frac{a * P_1^{10} * \log (10^{2-f} * Tr^{f-1})}{(D + b)^c} = \frac{\infty_{Tr}}{(D + b)^c}$$

En la anterior fórmula i_D^{Tr} intensidad buscada en mm/h, P_1^{10} en milímetros, D es la duración en minutos ($5 \leq D \leq 1440$).

Según diversos artículos, éste método ajusta mejor en el intervalo de $5 \geq Tr \leq 100$

6.7.7. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN

Los métodos de gastos máximos usados en los esquemas se muestran a continuación.



6.7.8. 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.

El 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 (A), 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 $Q_p=i A_c$. Sin embargo, la existencia de detracción de agua o precipitación interceptada, hace necesario considerarla mediante un coeficiente un coeficiente de escorrentía denominado C , calculado con la NOM011. Éste coeficiente toma valores de 0 a 1

$$Q_p = 0.278 CiA$$

Donde:

- Q_p Gasto pico o máximo, en m^3/s
- C Coeficiente de escorrentía, adimensional
- i Intensidad de la precipitación, mm/h (se obtiene de Curva $IdTr$, para $d=t_c$ y diferentes Tr)
- A Superficie de la cuenca, en Km^2 (se obtiene en apartado anterior)

6.7.9. MÉTODO POR LA FÓRMULA DE CREAGER

La idea fundamental de estos métodos es relacionar el gasto máximo, Q_p , con el área de la cuenca A en la forma:

$$Q_p = q A$$

$$q = 1.303C_c(0.386 A)^\alpha A^{-1}$$

Donde:

- Q_p Gasto de diseño en m^3/s
- q Gasto máximo por unidad de área en $m^3/s-km^2$

$$\alpha = \frac{0.936}{A^{0.048}}$$

- C_c Coeficiente empírico de Creager
- A Área de la cuenca en km^2

6.7.10. MÉTODO POR LA FÓRMULA DE LOWRY

$$Q_p = q A$$

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

Donde:

C_L es un coeficiente empírico de Lowry

Los valores de C_c y C_L se determinan por regiones, llevando a una grafica logarítmica los gastos unitarios máximos (q).

6.7.11. MÉTODO DEL 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.

$$Q_I = q_p P_e$$

Donde:

Q_I Gasto de diseño, en m³/s

q_p Gasto unitario pico, en m³/s/mm

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

A Superficie de la cuenca, en km² (se obtiene en un apartado anterior)

t_p Tiempo pico, en horas

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

t_c Tiempo de concentración, en horas (se obtiene en un apartado anterior)

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_0 Precipitación interceptada, en cm.

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

- N Número de escurrimiento (se obtiene en un apartado anterior)

6.7.12. MÉTODO DE CHOW

$$Q_p = q_p P_e$$

Donde:

- Q_p Gasto de diseño, en m³/s.
 q_p Gasto unitario pico, en m³/s/mm.

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

- A Superficie de la cuenca, en km² (se obtiene en un apartado anterior)
 D Duración en exceso o efectiva de la tormenta, en horas
 Z Factor de reducción del pico, adimensional, se obtiene de grafica en función de la duración y del tiempo de retraso.

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

- 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

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

- P Precipitación acumulada para el instante considerado, en cm.
N Número de escurrimiento (N)

6.8. Cálculo del gasto pico por medio de una estación hidrométrica

No siempre existe la posibilidad de tener una estación hidrométrica dentro o cerca de la cuenca, pero cuando se tiene el procedimiento de análisis es muy similar al de las estaciones pluviométricas.

Si la corriente cuenta con otra estación hidrométrica aguas abajo o arriba se puede realizar una consistencia de los datos máximos, ya que son los que se utilizarán para la determinación de los gastos máximos a los diferentes periodos de retorno.

Si es necesario el llenado de datos se puede realizar con la estación o estaciones localizadas en el mismo cauce, siempre y cuando cumplan con la correlación.

La determinación de los gastos máximos se realiza utilizando el gasto máximo de cada año del periodo de tiempo con el que se trabaje y con ayuda del programa AX se ajusta una distribución, en base a dicha distribución se obtienen los gastos para los diferentes periodos de retorno en estudio.

La selección de la estación se hizo a partir de las premisas siguientes:

- Cercana y que pase por cauce principal.
- Sus registros contengan información reciente.
- El periodo de los registros sea suficientemente amplio o superior a 15 años.
- Registros con la menor cantidad de vacíos y evitar el llenado de datos para lograr un alto grado de confiabilidad en los mismos

Tomando en consideración lo anterior la estación seleccionada es "LA PASTORIA".

Se obtiene la correlación de las estaciones hidrométricas La Pastoría y Ziritzicuaro, es de suponer que la correlación es mayor a 0.8 porque la estación Ziritzicuaro se encuentra en una corriente tributaria de las corrientes en la cual se encuentra la estación La Pastoría.

Se realiza un análisis de consistencia de datos, el análisis de consistencia de datos tiene el propósito de establecer la correlación entre la estación Ziritzicuaro y la Pastoría. Con la finalidad de detectar algún cambio en las condiciones de medición debido a un cambio en el operador o de localización de los aparatos o bien de las condiciones circundantes.

Se realiza una regresión lineal para hacer llenado de datos.

Con los datos obtenidos se procede a la utilización del programa AX para el ajuste de una función de distribución y de esta manera obtener los gastos máximos a diferentes periodos de retorno.

6.9. Cálculo del volumen de escurrimiento

El volumen medio anual de escurrimiento natural corresponde al flujo directo y se determina indirectamente, en función de la formula dada por la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 (Vease ANEXO).

El cálculo del volumen medio anual de escurrimiento natural se obtiene con el promedio de los volúmenes anuales de escurrimiento natural:

$$Ve=Ce * A * P$$

Donde:

- Ve Volumen medio anual de escurrimiento natural
- Ce Coeficiente de escurrimiento, en función del K de la cuenca y precipitación media anual.
- A Área de la cuenca en m²
- P Precipitación anual en mm

6.10. ESQUEMAS

6.10.1. CUENCA PASTORÍA SIN SUBCUENCAS

Escenario CSSL1RC1

Solo se considera una estación base con la forma de llenado uno, parámetro R calculado y las IDTr calculadas con regresión lineal.

Escenario CSSL1RM1

Solo se considera una estación base con la forma de llenado uno, parámetro R determinado con mapas y las IDTr calculadas con regresión lineal.

Escenario CSSL1RM2

Solo se considera una estación base con la forma de llenado uno, parámetro R determinado con mapas y las IDTr determinado con CHEN.

Escenario CSSL2RC1

Se consideran todas las estaciones de correlación mayor a 0.8 y trasladadas al centro de gravedad de la cuenca, parámetro R calculado y las IDTr calculadas con regresión lineal.

Escenario CSSL2RM1

Se consideran todas las estaciones de correlación mayor a 0.8 y trasladadas al centro de gravedad de la cuenca, parámetro R determinado por mapas y las IDTr calculadas con regresión lineal.

Escenario CSSL2RM2

Se consideran todas las estaciones de correlación mayor a 0.8 y trasladadas al centro de gravedad de la cuenca, parámetro R determinado por mapas y las IDTr determinado con CHEN.

6.10.2. CUENCA PASTORÍA CON SUBCUENCAS

Escenario CCSRML11

Solo se considera una estación base para cada cuenca con la forma de llenado uno, parámetro R determinado con mapas y las IDTr calculadas con regresión lineal.

Escenario CCSRML12

Solo se considera una estación base para cada subcuenca con la forma de llenado uno, parámetro R determinado con mapas y las IDTr determinado con CHEN.

Escenario CCSRML21

Se consideran todas las estaciones de correlación mayor a 0.8 y trasladadas al centro de gravedad de la cuenca, parámetro R determinado por mapas y las IDTr calculadas con regresión lineal.

Escenario CCSRML22

Se consideran todas las estaciones de correlación mayor a 0.8 y trasladadas al centro de gravedad de la cuenca, parámetro R determinado por mapas y las IDTr determinado con CHEN.

Escenario CCSRCL11

Se utilizan subcuencas, se realiza el llenado uno, el parámetro R es calculado y las curvas IDTr son calculadas con una regresión lineal.

Escenario CCSRCL21

Se utilizan subcuencas, se realiza el llenado dos, el parámetro R es calculado y las curvas IDTr son calculadas con una regresión lineal.

6.10.3. VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO

Escenario Ve1

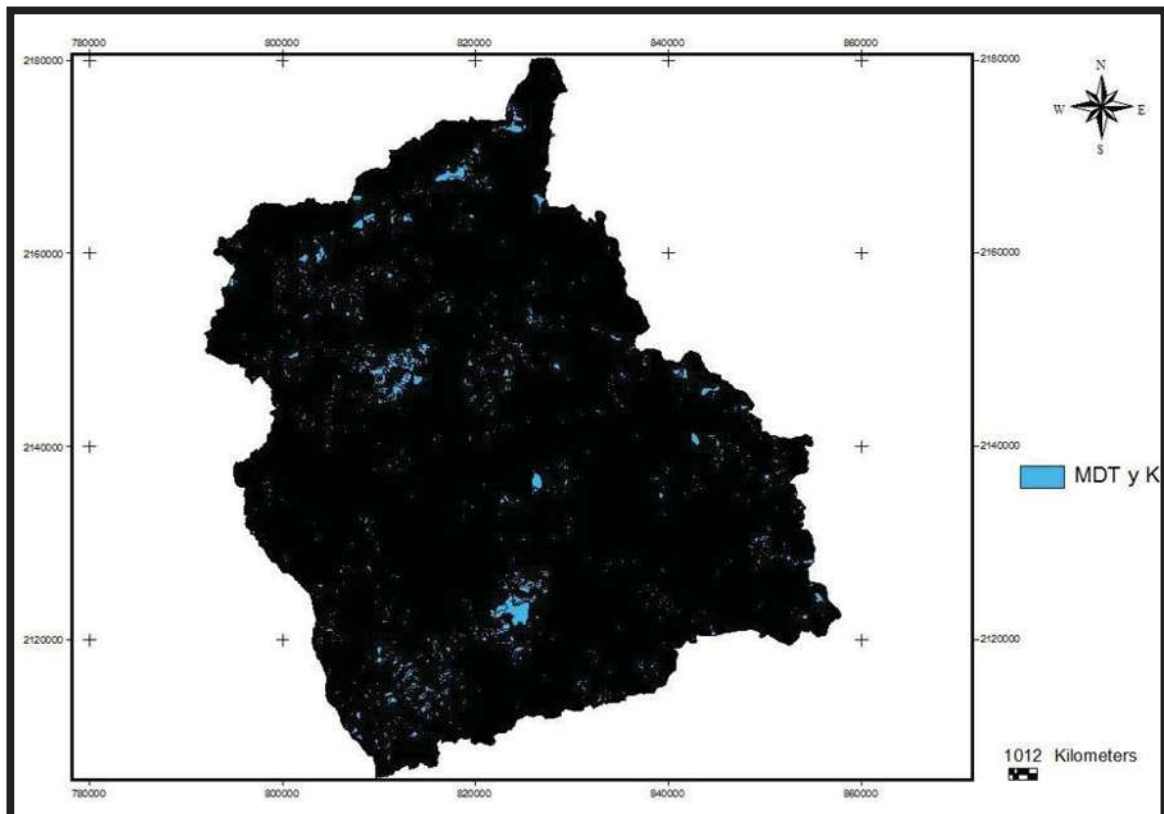
De la estación base seleccionada para la cuenca, se utiliza la precipitación total de cada año, de esta forma se obtiene un coeficiente de escurrimiento para cada año y por lo tanto, un volumen de escurrimiento en cada año, el promedio de los diversos volúmenes de escurrimiento nos da el volumen anual de escurrimiento natural.

Escenario Ve2

El área de la cuenca es multiplicada por un coeficiente de escurrimiento (obtenido por medio de la precipitación media anual del método de las isoyetas y el parámetro K general de toda la cuenca) y por último se multiplica la precipitación media anual, dando como resultado el volumen anual de escurrimiento natural.

Escenario Ve3

Al tener el MDT recortado con la cuenca principal, cada uno de los pixeles que conforman la imagen cuenta con un número de identificación "ID", y lo más importante, es que cada pixel cuenta con una elevación, como también se tiene el parámetro K en pixelaje, se realiza una unión de ambos mapas, dando como resultado el siguiente mapa.



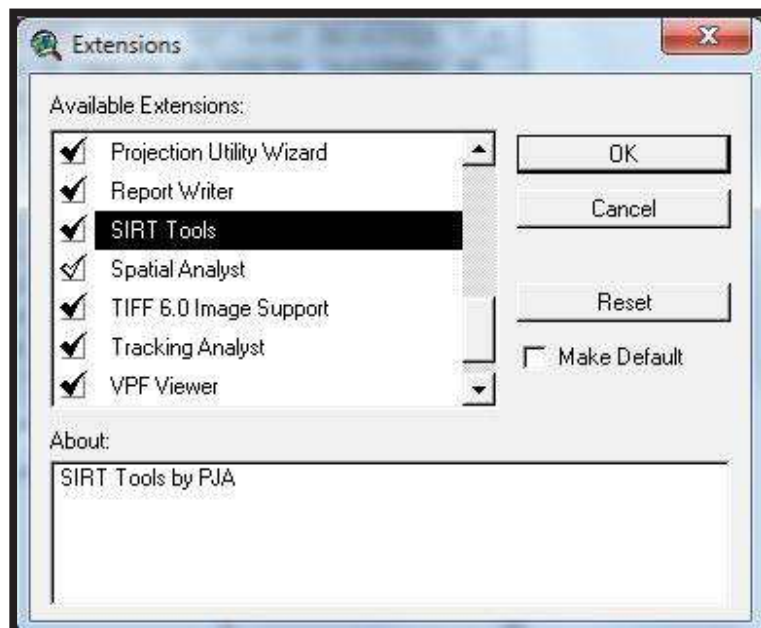
Unión del MDT y del parámetro K.

En base a lo anterior, se determina el centroide de cada uno de los pixeles y el área correspondiente, procedimientos anteriormente explicados, de esta manera tenemos las coordenadas X, Y, Z, para cada pixel, así como el parámetro K, como se muestra en la imagen siguiente.


Attributes of Unida_mde_k.shp						
Shape	K	Id	Gridcode	Cx	Cy	Area_m2
Polygon	0.20	67440	2860	828542.258046	2179124.326847	486.277395
Polygon	0.20	67441	2828	828569.456747	2179129.851357	604.457616
Polygon	0.20	68247	2826	828435.129328	2179030.295567	978.378572
Polygon	0.20	68248	2833	828508.837363	2179059.661665	8029.434015
Polygon	0.20	68249	2814	828583.917983	2179059.661665	3584.611600
Polygon	0.20	69053	2797	828329.476858	2178936.778881	1630.099490
Polygon	0.20	69054	2806	828408.837363	2178959.661665	8796.733323
Polygon	0.20	69055	2805	828508.837363	2178959.661665	10000.000000
Polygon	0.20	69056	2796	828676.081978	2178926.169837	569.354164
Polygon	0.20	69835	2799	828233.934202	2178839.831767	1586.861687
Polygon	0.20	69836	2793	828308.837363	2178859.661665	9181.441826
Polygon	0.20	69837	2794	828408.837363	2178859.661665	10000.000000
Polygon	0.20	69838	2805	828708.837363	2178859.661665	7738.363474
Polygon	0.20	69839	2799	828758.940191	2178826.156787	0.590097
Polygon	0.20	70639	2784	828145.607874	2178726.920675	456.655765
Polygon	0.20	70640	2778	828208.837363	2178759.661665	8356.609282
Polygon	0.20	70641	2781	828308.837363	2178759.661665	10000.000000
Polygon	0.20	70642	2791	828408.837363	2178759.661665	10000.000000
Polygon	0.20	70643	2797	828558.837363	2178859.661665	38102.122321
Polygon	0.20	70644	2813	828608.837363	2178759.661665	10000.000000
Polygon	0.20	70645	2821	828708.837363	2178759.661665	9842.731571
Polygon	0.20	70646	2815	828760.205305	2178717.869802	22.456512
Polygon	0.20	71451	2784	828045.370514	2178621.277281	312.851496
Polygon	0.20	71452	2780	828308.837363	2178659.661665	10000.000000
Polygon	0.20	71453	2792	828408.837363	2178659.661665	10000.000000
Polygon	0.20	71454	2815	828508.837363	2178659.661665	10000.000000
Polygon	0.20	71455	2823	828608.837363	2178659.661665	10000.000000
Polygon	0.20	71456	2830	828708.837363	2178659.661665	10000.000000
Polygon	0.20	71457	2829	828779.253091	2178659.661665	2297.468573
Polygon	0.20	72255	2788	827845.659602	2178516.054627	168.489862
Polygon	0.20	72256	2781	827908.837363	2178540.311261	3704.255818
Polygon	0.20	72257	2793	828308.837363	2178559.661665	10000.000000
Polygon	0.20	72258	2803	828408.837363	2178559.661665	10000.000000
Polygon	0.20	72259	2811	828508.837363	2178559.661665	10000.000000
Polygon	0.20	72260	2826	828608.837363	2178559.661665	10000.000000
Polygon	0.20	72261	2841	828708.837363	2178559.661665	10000.000000
Polygon	0.20	72262	2846	828804.150788	2178559.661665	6653.951063
Polygon	0.20	73053	2771	827757.099312	2178412.424669	9.604483
Polygon	0.20	73054	2774	827808.837363	2178459.661665	7122.232966
Polygon	0.20	73055	2782	827908.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73056	2777	828108.837363	2178559.661665	55369.244933
Polygon	0.20	73057	2780	828108.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73058	2789	828208.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73059	2799	828308.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73060	2824	828408.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73061	2831	828508.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73062	2841	828608.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73063	2850	828708.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73064	2865	828808.837363	2178459.661665	9916.997985

Tabla de atributos de la determinación MDT Y parámetro K.

Con la extensión SIRT Tool, la cual se debe de activar como se muestra en la imagen siguiente, se hace el traslado de estos datos a Excel, la utilización de esta extensión se debe a que con la gran cantidad de información que se tiene al momento de abrir el archivo directamente en Excel como formato .dbase, la información no se muestra completamente.




Activador de extensiones.

Se debe de seleccionar la información que se desea exportar de la columna, en nuestro caso como es toda, se da clic en el icono select all, el cual tiene la forma , siendo el resultado la siguiente imagen.

Shape	A	Id	Linecode	Cx	Cy	Area_sq
Polygon	0.20	67440	2850	828542.258046	2179124.336847	486.277295
Polygon	0.20	67441	2826	828559.456747	2179129.851257	604.457616
Polygon	0.20	68247	2826	828435.129329	2179030.295567	978.378572
Polygon	0.20	68248	2833	828508.837363	2179059.661665	8029.434015
Polygon	0.20	68249	2814	828583.917983	2179059.661665	3584.611600
Polygon	0.20	68053	2797	828323.476858	2178936.779881	1630.099490
Polygon	0.20	68054	2806	828408.837363	2178959.661665	8796.733323
Polygon	0.20	68055	2805	828508.837363	2178959.661665	10000.000000
Polygon	0.20	68056	2796	828676.061978	2178926.169837	563.354164
Polygon	0.20	68835	2799	828223.934202	2178839.831767	1986.861697
Polygon	0.20	68836	2793	828308.837363	2178859.661665	9191.441625
Polygon	0.20	68837	2794	828408.837363	2178859.661665	10000.000000
Polygon	0.20	68838	2805	828708.837363	2178859.661665	7738.363474
Polygon	0.20	68839	2799	828758.940191	2178826.156787	0.590037
Polygon	0.20	70639	2784	828145.607874	2178726.920675	456.695765
Polygon	0.20	70640	2778	828208.837363	2178759.661665	8356.609282
Polygon	0.20	70641	2781	828308.837363	2178759.661665	10000.000000
Polygon	0.20	70642	2791	828408.837363	2178759.661665	10000.000000
Polygon	0.20	70643	2797	828508.837363	2178859.661665	38102.122321
Polygon	0.20	70644	2813	828608.837363	2178759.661665	10000.000000
Polygon	0.20	70645	2821	828708.837363	2178759.661665	8842.731571
Polygon	0.20	70646	2815	828760.205305	2178717.883802	22.458512
Polygon	0.20	71451	2784	828045.370514	2178621.277281	312.851496
Polygon	0.20	71452	2780	828308.837363	2178659.661665	10000.000000
Polygon	0.20	71453	2792	828408.837363	2178659.661665	10000.000000
Polygon	0.20	71454	2815	828508.837363	2178659.661665	10000.000000
Polygon	0.20	71455	2823	828608.837363	2178659.661665	10000.000000
Polygon	0.20	71456	2830	828708.837363	2178659.661665	10000.000000
Polygon	0.20	71457	2829	828778.253091	2178659.661665	2297.468673
Polygon	0.20	72255	2788	827845.658602	2178516.054627	168.489882
Polygon	0.20	72256	2781	827908.837363	2178549.211261	3704.255919
Polygon	0.20	72257	2793	828308.837363	2178559.661665	10000.000000
Polygon	0.20	72258	2803	828408.837363	2178559.661665	10000.000000
Polygon	0.20	72259	2811	828508.837363	2178559.661665	10000.000000
Polygon	0.20	72260	2826	828608.837363	2178559.661665	10000.000000
Polygon	0.20	72261	2841	828708.837363	2178559.661665	10000.000000
Polygon	0.20	72262	2846	828804.150788	2178559.661665	6653.951063
Polygon	0.20	73063	2771	827757.096312	2178412.424669	9.604493
Polygon	0.20	73064	2774	827808.837363	2178459.661665	7122.232566
Polygon	0.20	73065	2782	827908.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73066	2777	828108.837363	2178559.661665	55369.244933
Polygon	0.20	73067	2780	828108.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73068	2789	828208.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73069	2799	828308.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73060	2824	828408.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73061	2831	828508.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73062	2841	828608.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73063	2850	828708.837363	2178459.661665	10000.000000
Polygon	0.20	73064	2865	828808.837363	2178459.661665	3916.927885
Polygon	0.20	73065	2870	828877.307593	2178459.006393	1558.604196
Polygon	0.20	73854	2771	827808.837363	2178359.661665	10000.000000

Selección de la información

Al ser activada la extensión a parece el icono  (connect to Excel) el cual al dar clic sobre de él aparece la siguiente ventana, que nos permite exportar e importar información.



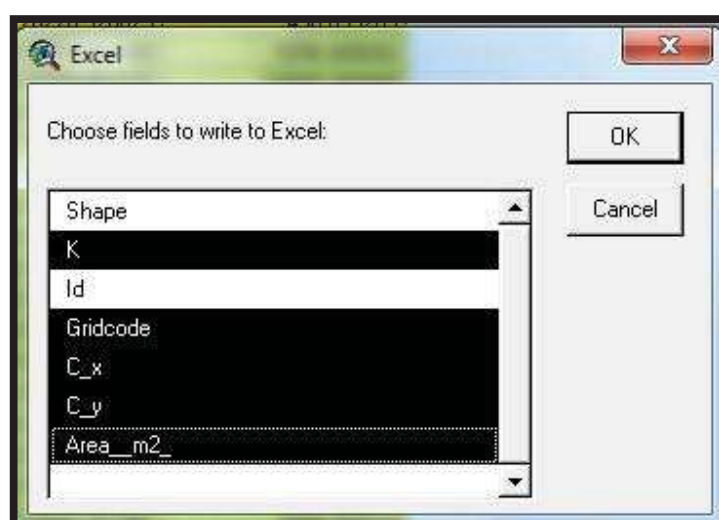
Ventana de connect to Excel, para importar y exportar información.

Como nos interesa llevar esta información a Excel se da clic en EXPORT, en el instante aparecerá una nueva ventana.



Nos indica que la información será colocada en un nuevo libro.

Al aceptar, nos aparecerá una nueva ventana, en la cual seleccionaremos las columnas a trasladar.



Selección de las columnas a trasladar

Al aceptar, el archivo de Excel se crea, el proceso tarda por la gran cantidad de datos que se trabaja.

Para que no exista confusión en la cantidad y en las siguientes operaciones, se realiza una columna con el nombre de "Número", esta numeración ira desde el 1 hasta 269957 la cual corresponde hacer la cantidad de pixeles existentes.

Cada año de cada estación principal se traslada al centro de gravedad de cada pixel, por medio de la ecuación de la inversa de la distancia al cuadrado, se obtuvo la distancia de cada estación con respecto a cada pixel por medio de la ecuación euclidiana, enseguida se realiza una suma de todos los años iguales, es decir, sólo quedará una serie de años desde 1963 hasta el 2002, de ésta manera se tiene la precipitación trasladada al centro de gravedad de cada pixel, con lo anterior, se cuenta con un parámetro K y una precipitación en mm para cada pixel, en base a lo anterior calculamos el Ce, y por último se realiza la multiplicación de la precipitación en m por el Ce y por el área en m², de esta manera se tiene el volumen de escurrimiento para cada pixel en m³ para cada año, la suma de los

volúmenes de cada pixel de cada año por separado da como resultado el volumen de escurrimiento para cada año de la cuenca, un promedio de estos volúmenes nos dará el volumen de escurrimiento medio anual o volumen anual de escurrimiento natural en m³/año.

Escenario ve4

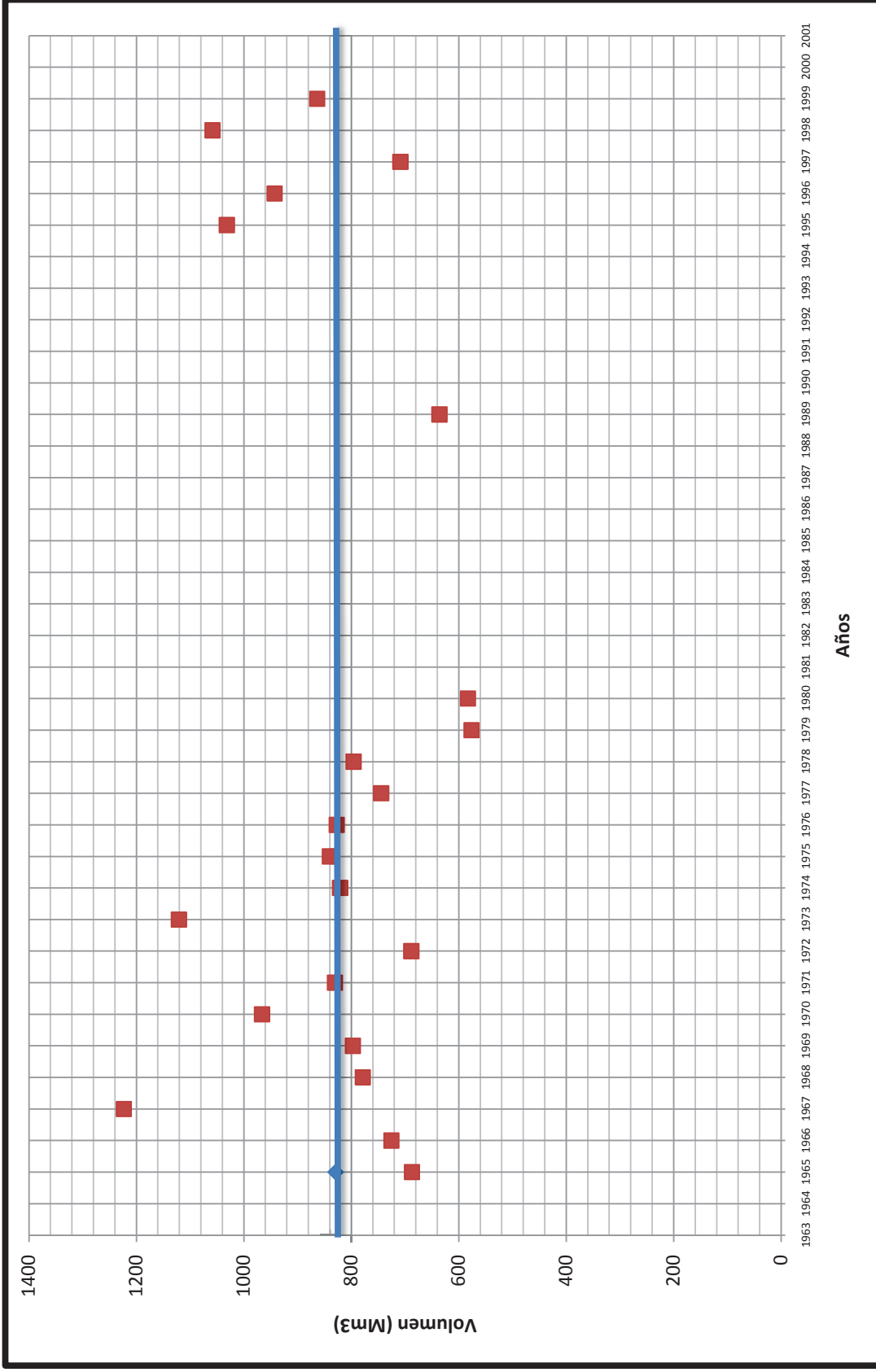
La estación La Pastoría se encuentra aguas debajo de la cuenca en estudio, lo cual nos permite utilizar los datos de esta estación hidrométrica.

Los datos de los volúmenes de escurrimiento se descargan del SIASS, éstos datos están en unidades de miles de m³, se realiza un promedio mensual de todos los años útiles, considerando años útiles aquellos a los que no haga falta ningún mes de información, se realiza una suma del promedio mensual de los 12 meses, resultando un volumen medio anual en miles de m³, este volumen está conformado por el flujo base y el volumen de escurrimiento producido por las precipitaciones.

El volumen de escurrimiento de las precipitaciones se determina indirectamente graficando los años y la suma total anual del volumen, en el eje de las X, corresponde a los años y en el eje Y corresponde al volumen, este volumen se grafica en Mm³. Una vez graficados los volúmenes, se coloca una línea horizontal con el volumen de precipitación medio separando de esta manera los años húmedos y los años secos, ésta gráfica es muy favorable para su visualización.

En base a la gráfica se busca el año más seco y por consecuencia este año es el que mayor cantidad de flujo base contiene, pero no debemos olvidar que el flujo base puede aumentar según ocurran las recargas del acuífero y esto ocurre muy de la mano con las precipitaciones, así que se consideran dos métodos para la obtención del flujo base, el primero es el propiamente ya mencionado, es decir sólo se toma el año en el que ocurrió el volumen de escurrimiento menor y por consecuencia es el año donde la precipitación es menor, en cuanto al segundo método, se toma un promedio de todos los volúmenes menores a la línea trazada, es decir, los años secos.

La gráfica de los volúmenes se muestra a continuación.



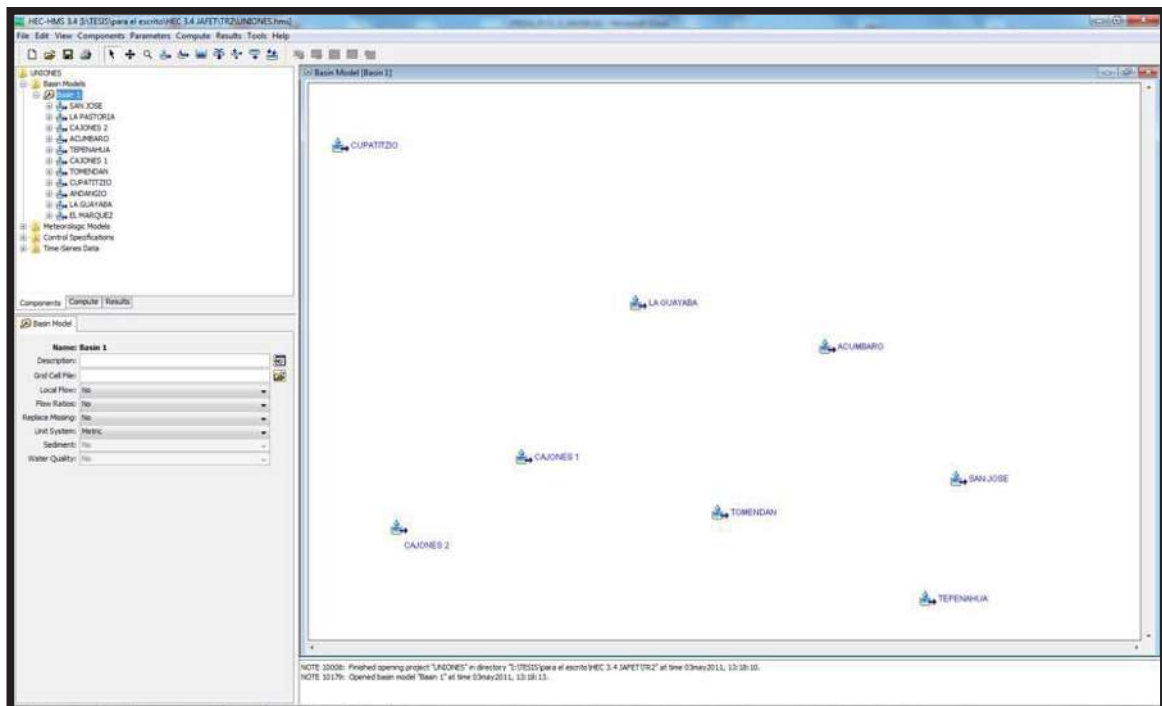
Línea de tendencia para la determinación del volumen de escurrimiento.

Gráficamente se puede detectar que el menor volumen encontrado con mayor flujo base se tiene en el año 1979, con un volumen de 576.305 Mm³.

6.11. Simulación en HEC HMS de varias cuencas

La simulación de cuencas por separado, se ha explicado en anteriores tesis de análisis, en esta tesis se explica la conjugación de varias subcuencas que conforman una cuenca, debido a la necesidad de obtener solamente un gasto pico.

Cuando se tienen muchas subcuencas, es necesario generar una corrida de un sólo periodo de retorno, primeramente, se deben de crear todas las subcuencas con las que se va a trabajar, la distribución de dichas subcuencas puede ser aproximada o se puede utilizar una imagen de fondo para la colocación más precisa de las subcuencas, en este caso se realiza de la primera manera como se muestra a continuación.





Distribución de subcuencas en HEC HMS

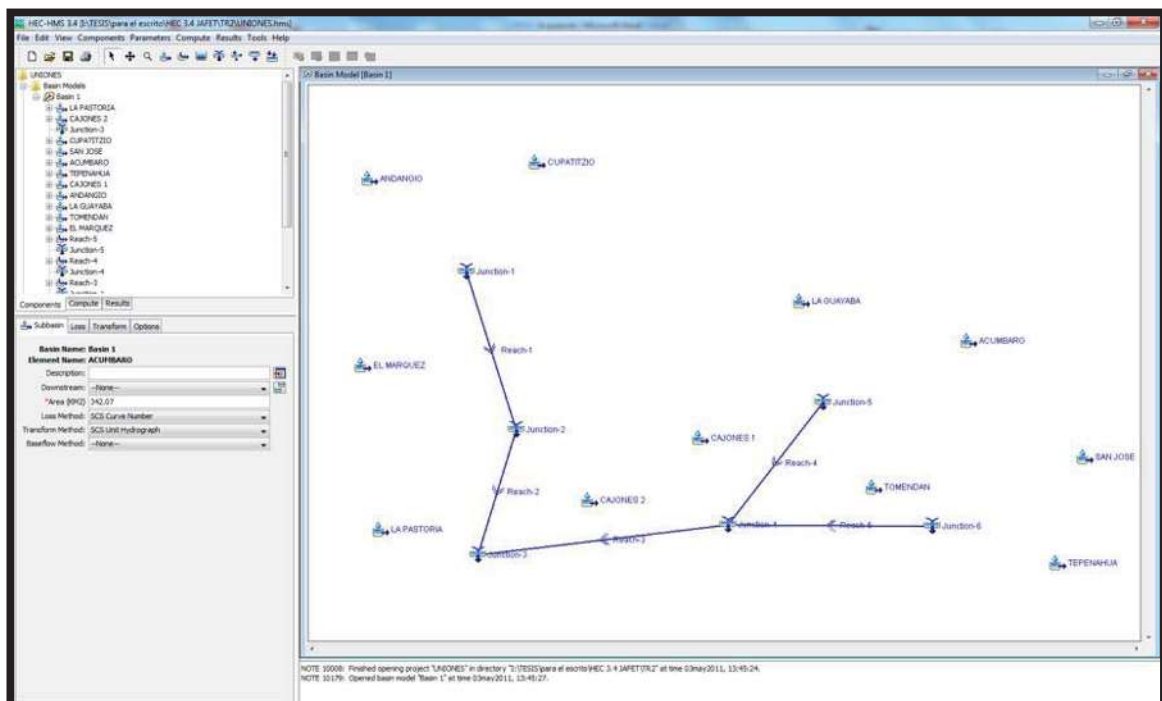
Al realizar esta distribución en la ventana superior derecha aparecen las cuencas creadas en la carpeta “Basin Models” si el nombre no fue modificado, como se muestra.



Subcuencas de la cuenca Pastoría

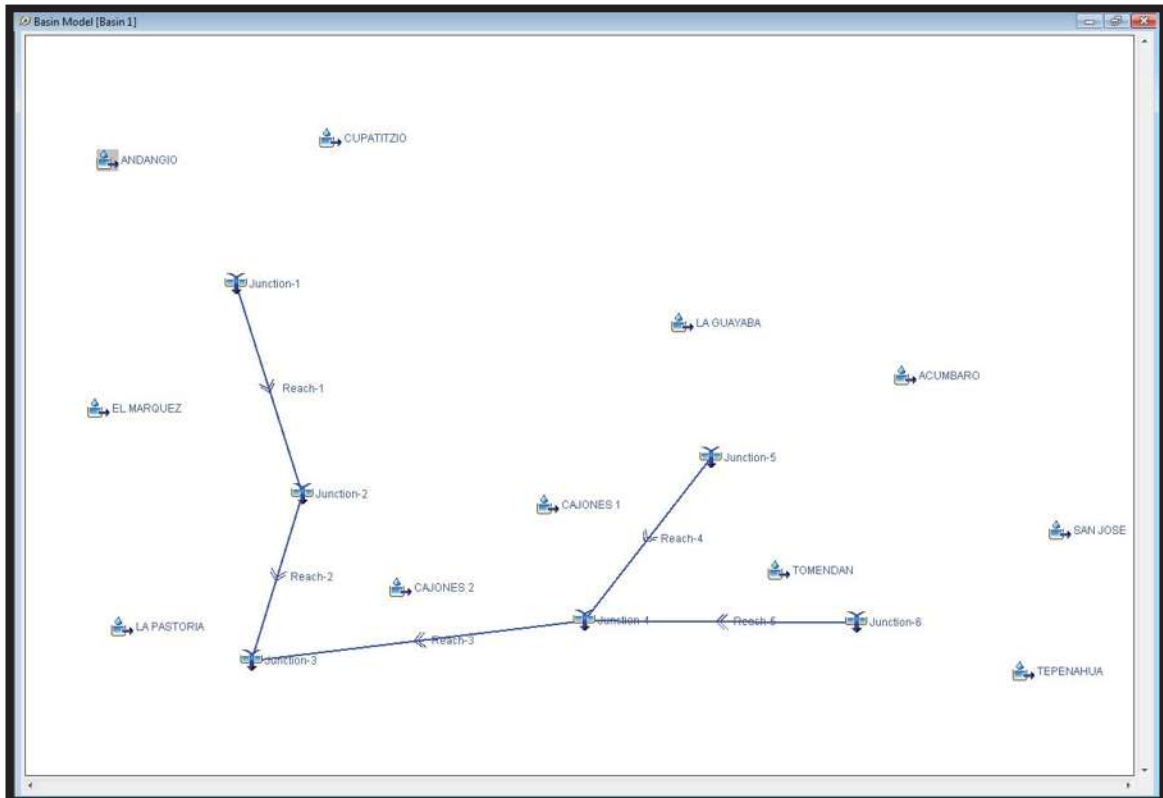
A cada una de estas cuencas se les coloca las características tales como el número de escurrimiento, su área y el tiempo de retraso.

Para realizar el recorrido del agua a lo largo de las bifurcaciones e indicar donde se une cada cuenca, se utilizan los icono Junction Creation Tool  y Reach Creation Tool , utilizando a Junction Creation Tool para la unión de dos cuencas y para la incorporación de una cuenca a un fluído ya existente, el cual puede ser generado por otra cuenca, en cuanto al icono Reach Creation Tool nos permite dibujar el río de aguas arriba hacia aguas abajo y es muy utilizado para unir los Junction Creation Tool, el resultado de esto se muestra a continuación.



Colocación de las uniones o intersecciones y ríos en HEC HMS

En la ventana superior derecha aparecen las nuevas incorporaciones realizadas, estas nuevas incorporaciones no están entrelazadas, es decir, trabajan de manera independiente, la forma de unir esto es primeramente seleccionar con un clic el elemento aguas arriba que se va a enlazar.

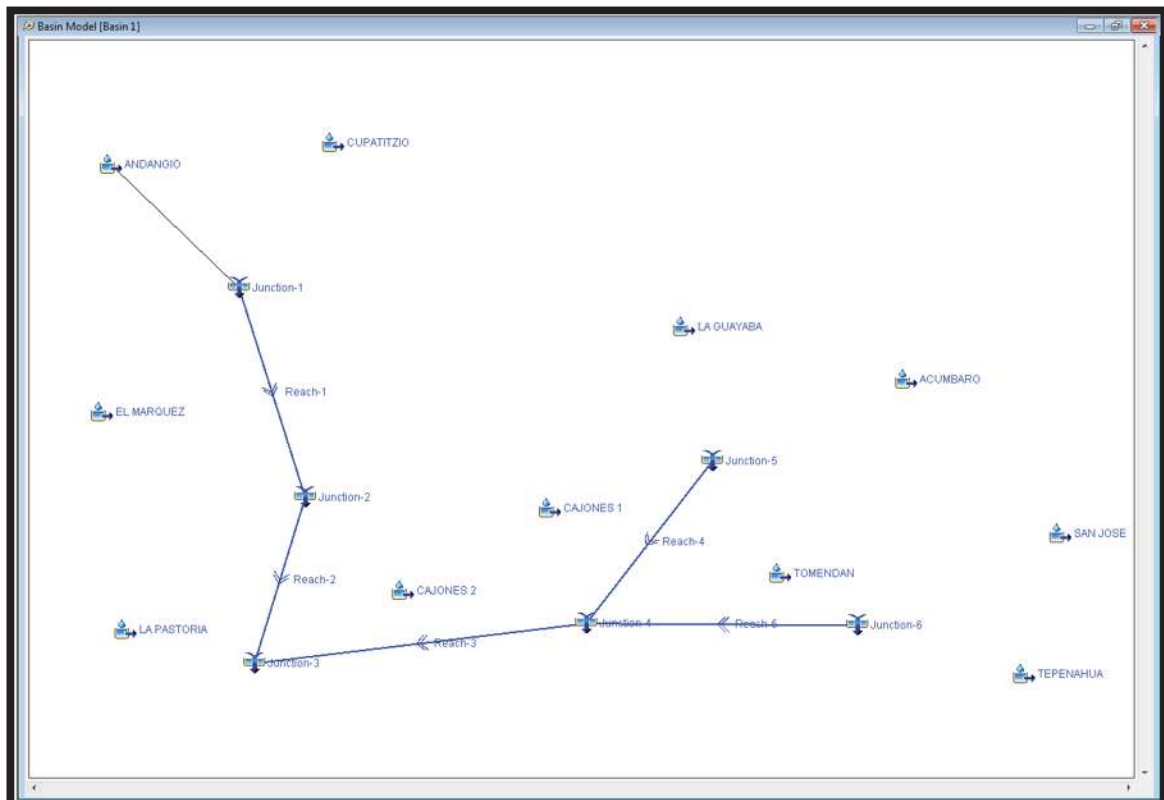


Elemento seleccionado

En la ventana inferior derecha se coloca el elemento que le sigue aguas abajo en la opción Downstream, como se muestra en la siguiente imagen.

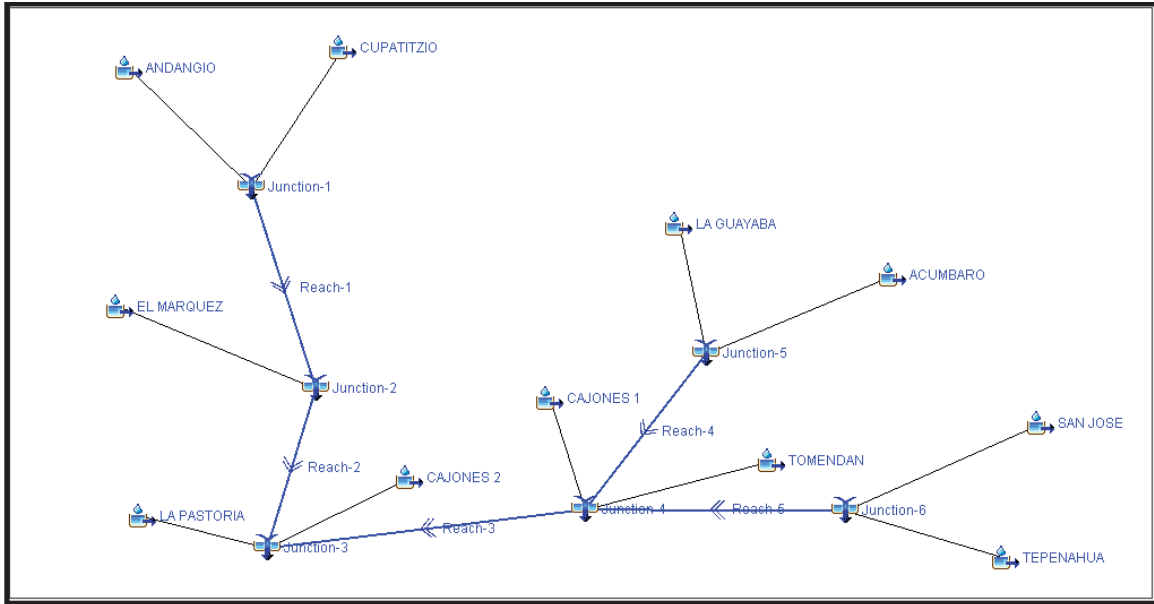
Enlace de elementos

Al realizar lo anterior, el enlace es mostrado en la ventana principal con una línea, como se muestra a continuación.



Enlace de elemento generado

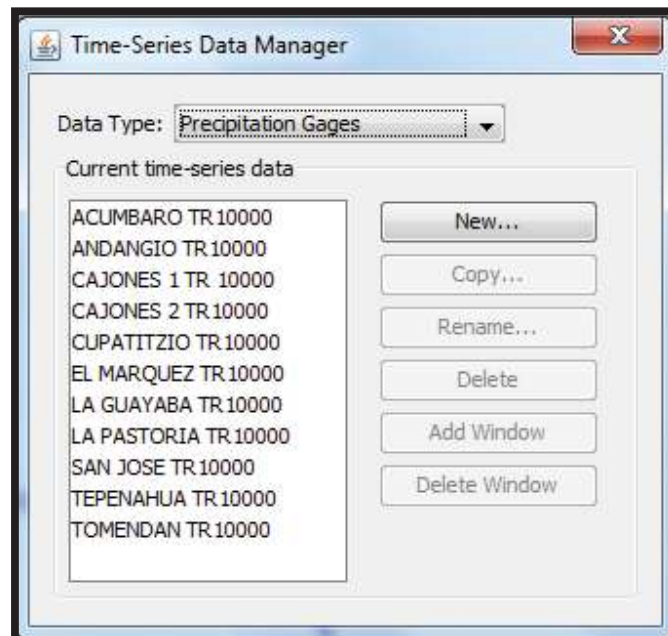
De la anterior manera se enlazan todos los elementos, en los elementos Reach Creation Tool en la opción Routing Method se coloca None, porque se considera que los gastos se unirán simultáneamente, de esta manera se coloca la forma más desfavorable y por lo tanto, nos mantenemos del lado de la seguridad, el resultado de todos los enlaces se muestra a continuación.



Enlaces de las subcuencas, uniones y ríos

Es importante observar que la salida de la cuenca termina en unión, si terminara en una obra de captación o algún almacén, entonces el elemento sería otro.

Para cada cuenca se genera el mismo periodo de retorno correspondiente en el menú Components/Time-Series Data Manager, como se muestra a continuación.



Tiempo de retorno para las diversas cuencas

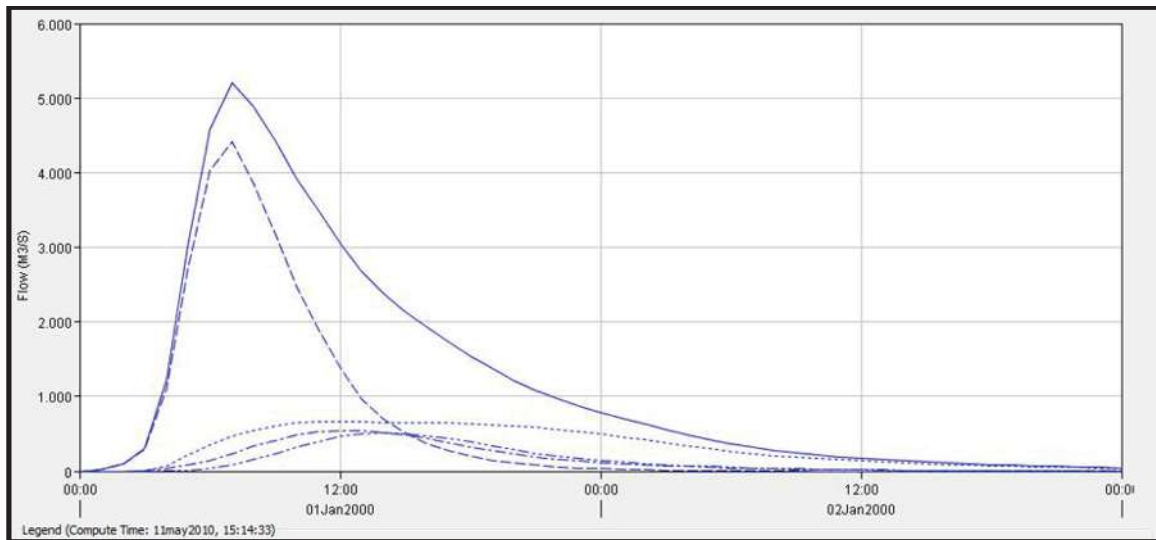
Una vez que se han ingresado las precipitaciones acomodadas se debe de indicar dichas precipitaciones, seleccionando en la ventana superior derecha en la
 Página 80 de 165

carpeta Meteorologic Models a Specified Hyetograph, al momento de dicha selección en la ventana inferior derecha aparecen todas las subcuencas, se debe de desplegar la opción correspondiente para cada una de ellas, como se muestra a continuación.

Subbasin Name	Gage
ACUMBARO	ACUMBARO TR.10000
ANDANGIO	ANDANGIO TR.10000
CAJONES 1	CAJONES 1 TR. 10000
CAJONES 2	CAJONES 2 TR.10000
CUPATITZIO	CUPATITZIO TR.10000
EL MARQUEZ	EL MARQUEZ TR.10000
LA GUAYABA	LA GUAYABA TR.10000
LA PASTORIA	LA PASTORIA TR.10000
SAN JOSE	SAN JOSE TR.10000
TEPENAHUA	TEPENAHUA TR.10000
TOMENDAN	TOMENDAN TR.10000

Cuenca con su precipitación acomodada correspondiente

Los demás parámetros para la corrida no cambian, así que dicha corrida puede realizarse como habitualmente se realizaba, en lo único que se debe de tener cuidado es que el Control Specifications tenga suficiente lapso de tiempo para que el Hidrograma Unitario Triangular este completo, el resultado debe de ser algo parecido a lo siguiente.



Hidrograma Unitario Triangular

7. RESULTADOS

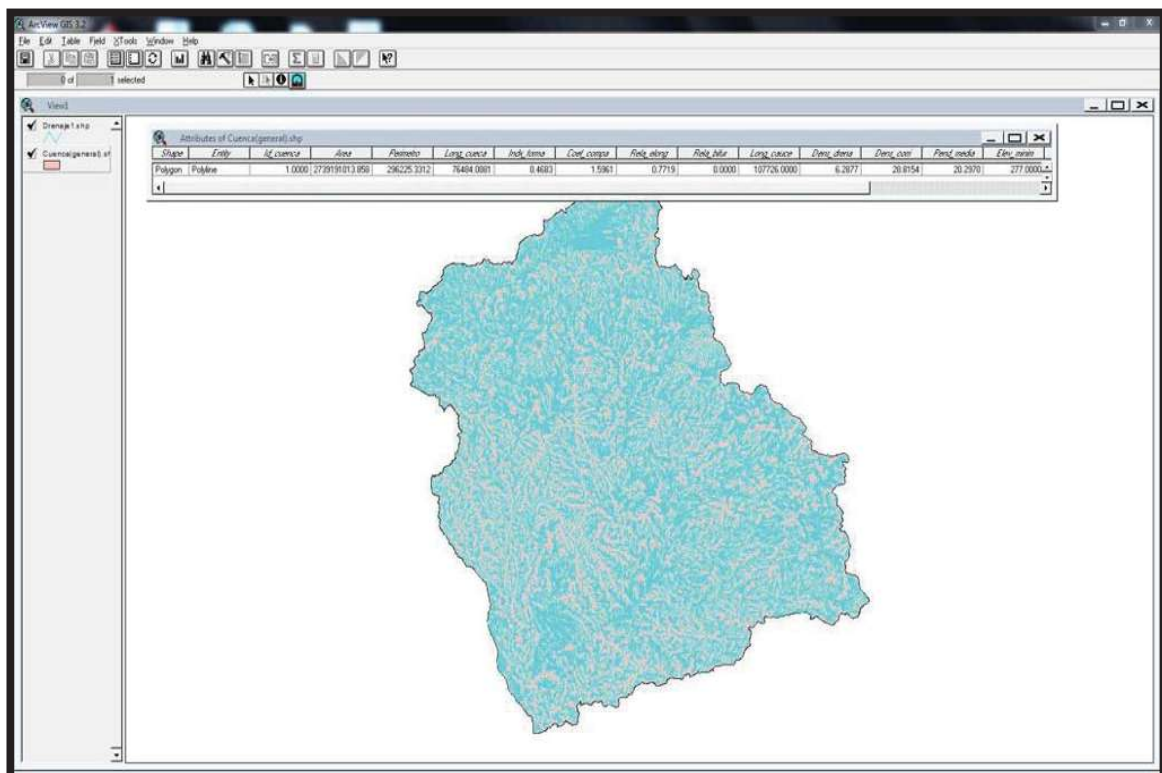
7.1. CARACTERÍSTICAS COMPLEMENTARIAS

Las características complementarias de la cuenca se pueden utilizar como un indicador de respuesta de la cuenca entre ellas se pueden citar el orden de la corriente, la densidad de drenaje, el coeficiente de compacidad, el índice de forma, elevación media de la cuenca, perímetro de la cuenca, entre otras.

Perímetro, en Km	296.225
Longitud Axial, en Km	76.484
Pendiente media de la cuenca, en %	20.297
Orden de corrientes	8
Índice de forma	0.4683
Coeficiente de Compacidad	1.596
Relación de elongación	0.772
Elevación media, en msnm	1,551.9058
Densidad de drenaje, en Km/Km ²	6.288

Características complementarias de la cuenca

Las características geomorfológicas descritas en la tabla anterior fueron determinadas con la ayuda del software ARCVIEW y la extensión DetermHidro. La figura siguiente muestra el resultado del proceso de la extensión antes mencionada.



Ventana de procesamiento de las características complementarias

Analizando los resultados anteriores se deduce que la cuenca es INTERMEDIA GRANDE, donde la cantidad y distribución del escurrimiento dependen principalmente de la corriente principal.

El índice de forma de la cuenca nos indica una cuenca oval, afectando a la respuesta hidrológica (disminuyendo).

El coeficiente de compacidad cercano a 1, indica una respuesta hidrológica más rápida. La cuenca presenta un índice de compacidad superior a 1, pero no tan lejano, indicando también que no tiene una respuesta hidrológica muy rápida.

La Relación de elongación de 0.772 nos indica una cuenca asociada a fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno.

Otra propiedad que identifica a las cuencas, es la pendiente media, las cuencas de mayores pendientes tienen una escorrentía veloz y su hidrograma, tienden a responder más rápidamente a la precipitación. La pendiente de 20.30%, se puede considerar algo alta en la cuenca.

La densidad de drenaje de 6.29, nos indica un desarrollo alto de la red de drenaje, con muchas ramificaciones, esto depende de la geología, características topográficas y de las condiciones climatológicas.

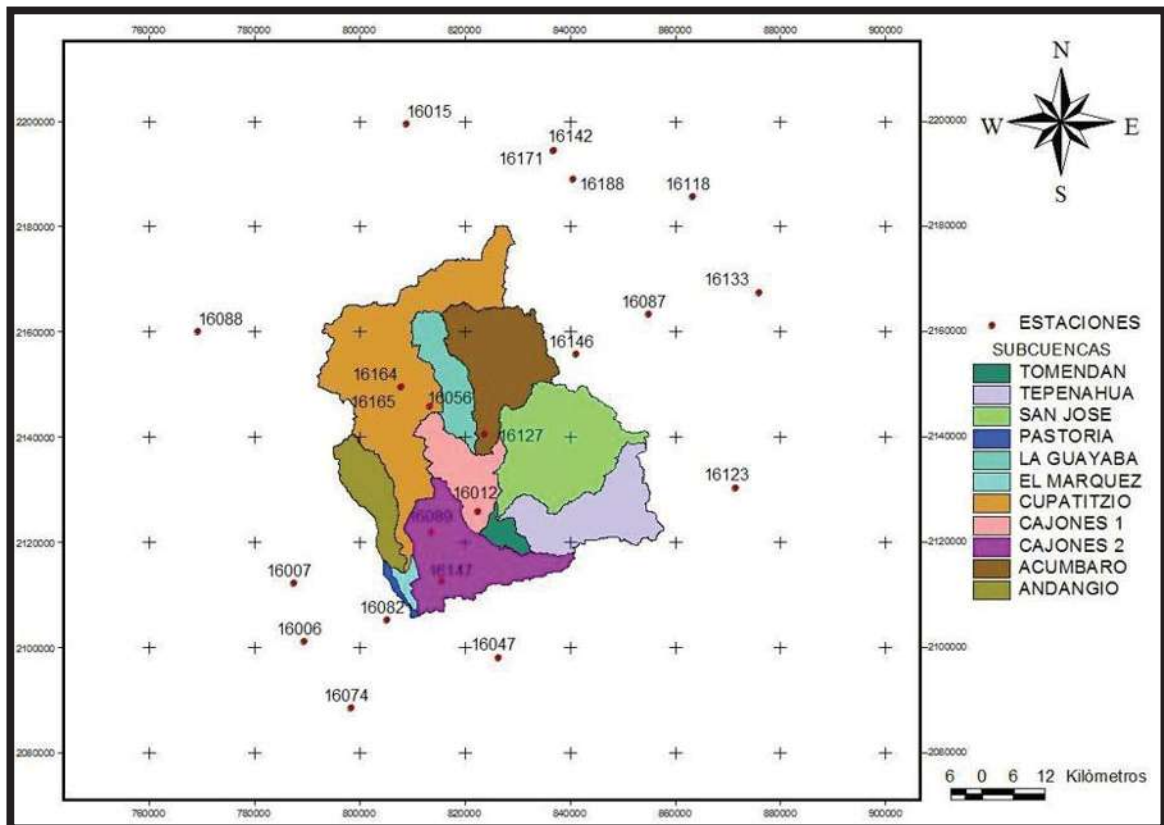
Esta densidad de drenaje, unido a una alta densidad de corrientes, nos indica que el sustrato rocoso no es tan permeable.

7.2. ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Para la selección de estaciones se consultó el mapa de estaciones del estado de Michoacán, así como de la Base de Datos ERIC III producida por el IMTA y el CLICOM producido por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Las estaciones encontradas así como su ubicación se muestran en la siguiente tabla y mapa respectivamente.

CLAVE	NOMBRE	UBICACIÓN		ELEVACIÓN (msnm)
		COORDENADAS UTM		
		X	Y	
16006	ANTÚNEZ, PARÁCUARO	789554.83200	2101208.03233	360
16007	APATZINGÁN, APATZINGÁN	787591.36809	2112254.93640	682
16012	CAJONES, GABRIEL ZAMORA	822535.34329	2125798.11797	480
16015	CARAPAN, CHILCHOTA	808949.46128	2199468.20570	2050
16047	EL ZAPOTE, LA HUACANA	826498.55818	2098165.39286	290
16056	JICALAN, URUAPAN	813346.26555	2145915.28439	1610
16074	LOS PANCHES, LA HUACANA	798505.89675	2088499.21368	206
16082	NUEVA ITALIA, ZARAGOZA	805297.05553	2105227.56972	460
16087	PÁTZCUARO, PÁTZCUARO	855072.65967	2163312.13935	2043
16088	PERIBÁN, PERIBÁN	769401.60863	2160051.11404	1630
16089	PLANTA H. EL COBANO, G.Z.	813757.84269	2121989.12407	577
16118	SANTA FE, QUIROGA	863446.28644	2185651.43378	2056
16123	TACÁMBARO, TACÁMBARO	871512.85417	2130385.22390	1755
16127	TARETAN, TARETAN	823957.38740	2140561.24144	1170
16133	TURICATO, TURICATO	876006.09671	2167507.75796	795
16142	ZACAPU, ZACAPU (DGE)	837039.51064	2194440.85503	1980
16146	ZIRAHUEN, VILLA ESCALANTE	841239.91401	2155729.08481	1850
16147	ZIRITZICUARO, LA HUACANA	815706.98990	2112715.20528	2525
16164	URUAPAN, URUAPAN (SMN)	808026.33850	2149591.20888	1634
16165	URUAPAN, URUAPAN (CFE)	808026.33850	2149591.20888	1611
16171	ZACAPU, ZACAPU, (SMN)	837039.51064	2194440.85503	1980
16188	TIRINDARO, ZACAPU	840606.24326	2188967.34588	2500

Estaciones meteorológicas de zona de estudio



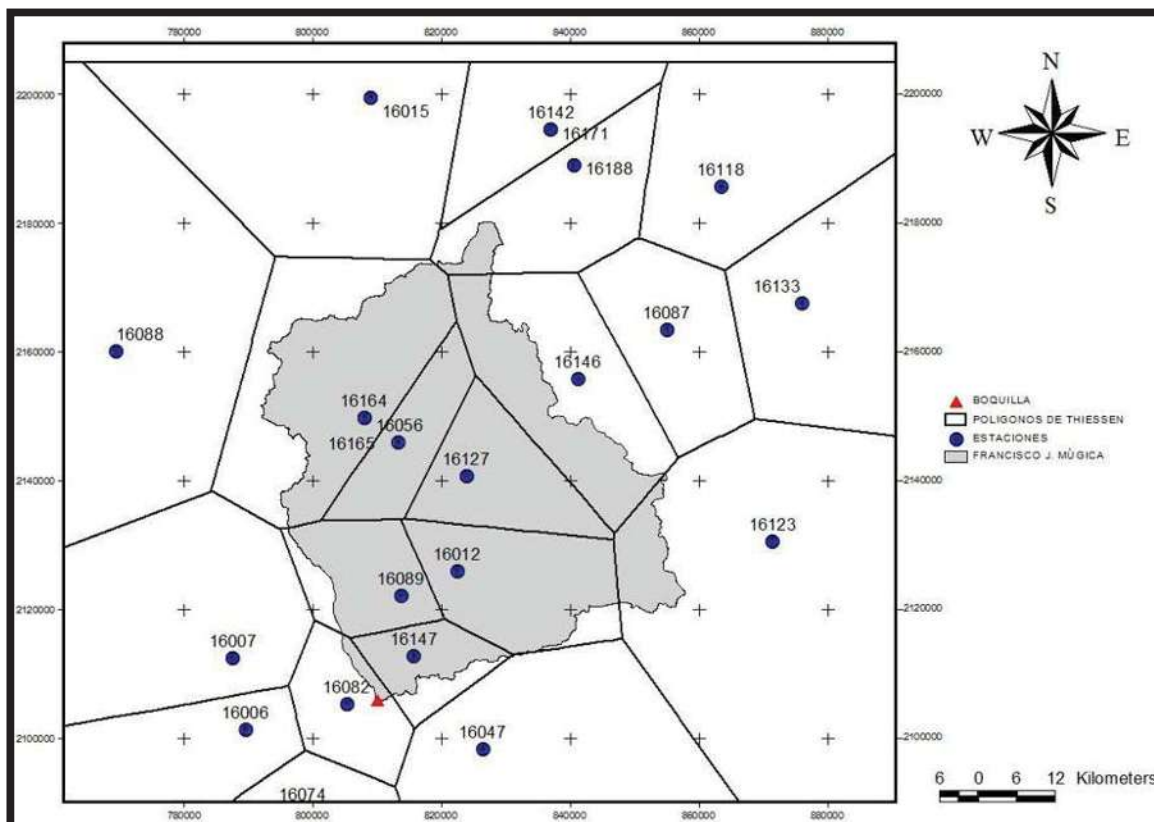
Mapa de estaciones meteorológicas en la zona de estudio

7.3. CÁLCULO DE LA LLUVIA MEDIA

Para la determinación de esta lluvia fue necesaria la implementación de dos métodos, el método de los Polígonos de Thiessen y el método de las Isoyetas, tomando en consideración las estaciones antes indicadas.

7.3.1. POLÍGONOS DE THIESSEN

Los Polígonos de Thiessen toman en consideración la distribución de las estaciones en el área de estudio y en base a esta área se determina la influencia que puede tener la precipitación de cada estación, en la figura siguiente se muestran los Polígonos de Thiessen para la cuenca Francisco J. Múgica, realizados a partir de la herramienta de información ARCVIEW.



Polígonos de las estaciones consideradas en la zona de estudio

De acuerdo a la distribución de los Polígonos de Thiessen la precipitación media obtenida se muestra a continuación.

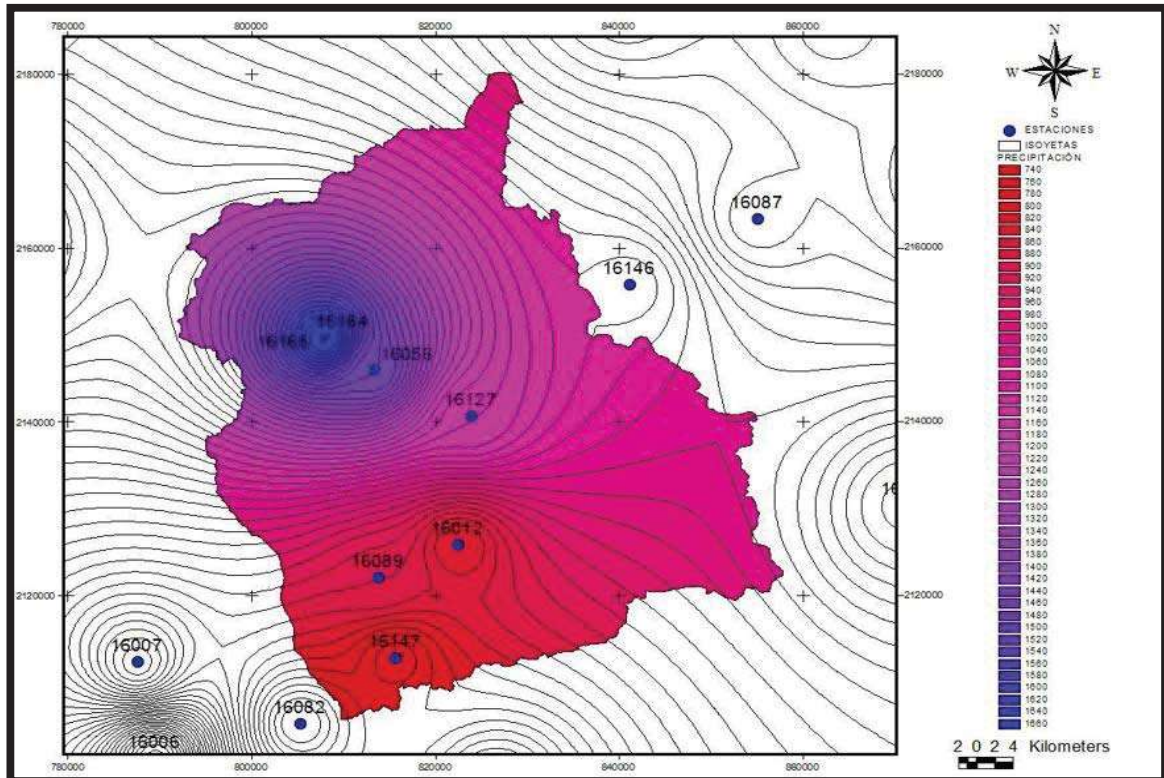
CLAVE	ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN (mm)	ÁREA (KM ²)	ÁREA*PRECIPITACIÓN
16047	El Zapote	662	0.12627419	83.59351378
16082	Nueva Italia	665	21.77290568	14478.98228
16147	Zirizicuaro	753	156.3323535	117718.2621
16012	Cajones	822	475.226956	390636.5578
16188	Tirindaro	832	40.17099356	33422.26664
16089	Planta H. El Cobano	896	279.0672452	250044.2517
16146	Zirahuen	1106	363.1270944	401618.5664
16127	Taretan	1154	395.8310583	456789.0413
16123	Tacámbaro	1183	126.3044757	149418.1947
16056	Jicalan	1457	278.0656232	405141.6131
16165	Uruapan (CFE)	1501	603.1660341	905352.2172
PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)				1140.740

Precipitación media anual en mm, calculada por el método de los Polígonos de Thiessen

7.3.2. ISOYETAS

Este método toma en consideración los efectos topográficos en la distribución de la lluvia, obtenidas por medio del software ARCVIEW.

En la figura siguiente se muestran la distribución de Isoyetas en la cuenca de estudio.



Isoyetas de precipitación en la cuenca Francisco J. Múgica

ÁREA (KM2)	ÁREA (%)	PRECIPITACIÓN	PRECIPITACIÓN*ÁREA (%)
7.35	0.27	1660.00	4.45
5.96	0.22	1640.00	3.57
6.71	0.24	1620.00	3.97
7.63	0.28	1600.00	4.46
8.74	0.32	1580.00	5.04
10.04	0.37	1560.00	5.72
11.62	0.42	1540.00	6.53
13.56	0.50	1520.00	7.52
16.07	0.59	1500.00	8.80
19.92	0.73	1480.00	10.76
28.15	1.03	1460.00	15.01
35.38	1.29	1440.00	18.60

ÁREA (KM2)	ÁREA (%)	PRECIPITACIÓN	PRECIPITACIÓN*ÁREA (%)
33.03	1.21	1420.00	17.12
35.18	1.28	1400.00	17.98
38.43	1.40	1380.00	19.36
42.62	1.56	1360.00	21.16
46.46	1.70	1340.00	22.73
51.75	1.89	1320.00	24.94
0.00	0.00	1320.00	0.00
57.64	2.10	1300.00	27.36
0.13	0.00	1300.00	0.06
0.00	0.00	1300.00	0.00
63.77	2.33	1280.00	29.80
61.09	2.23	1260.00	28.10
2.72	0.10	1260.00	1.25
44.30	1.62	1240.00	20.05
0.88	0.03	1240.00	0.40
5.91	0.22	1240.00	2.68
0.08	0.00	1240.00	0.04
50.14	1.83	1220.00	22.33
57.75	2.11	1200.00	25.30
67.22	2.45	1180.00	28.96
92.25	3.37	1160.00	39.07
109.30	3.99	1140.00	45.49
111.09	4.06	1120.00	45.42
0.00	0.00	1120.00	0.00
146.43	5.35	1100.00	58.80
81.91	2.99	1080.00	32.29
19.21	0.70	1080.00	7.57
17.43	0.64	1080.00	6.87
92.02	3.36	1060.00	35.61
12.42	0.45	1060.00	4.81
0.04	0.00	1060.00	0.02
0.78	0.03	1060.00	0.30
23.81	0.87	840.00	7.30
5.18	0.19	980.00	1.85
16.37	0.60	760.00	4.54
145.11	5.30	1040.00	55.09
10.54	0.38	1040.00	4.00
3.15	0.12	1040.00	1.20
153.07	5.59	1020.00	57.00
2.41	0.09	1020.00	0.90

ÁREA (KM2)	ÁREA (%)	PRECIPITACIÓN	PRECIPITACIÓN*ÁREA (%)
8.91	0.33	1020.00	3.32
0.86	0.03	740.00	0.23
0.21	0.01	740.00	0.06
7.43	0.27	760.00	2.06
113.29	4.14	1000.00	41.36
7.70	0.28	1000.00	2.81
45.92	1.68	780.00	13.08
29.49	1.08	800.00	8.61
30.11	1.10	820.00	9.01
38.77	1.42	840.00	11.89
93.66	3.42	860.00	29.41
0.05	0.00	860.00	0.02
100.07	3.65	880.00	32.15
93.10	3.40	900.00	30.59
76.20	2.78	920.00	25.59
65.88	2.41	940.00	22.61
68.96	2.52	960.00	24.17
85.84	3.13	980.00	30.71
PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL			1099.85

Precipitación media anual en mm, calculada por el método de Isoyetas

De acuerdo al centroide de la zona en estudio tenemos que la precipitación media anual calculada por las Isoyetas es de: 1099.85 mm.

Una vez que se tienen las isoyetas, la precipitación media de cada una de las subcuencas se calcula por el método explicado anteriormente.

SUBCUENCA	Precipitación
LA PASTORÍA	796.11 mm
TOMENDAN	880.17 mm
ACÚMBARO	1157.68 mm
CAJONES 1	1060.60 mm
EL MÁRQUEZ	803.68 mm
LA GUAYABA	1310.47 mm
SAN JOSÉ	1046.99 mm
TEPENAHUA	981.20 mm
ANDANGIO	1026.46 mm
CAJONES 2	856.06 mm
CUPATITZIO	1274.29 mm
CUENCA GENERAL	1099.85 mm

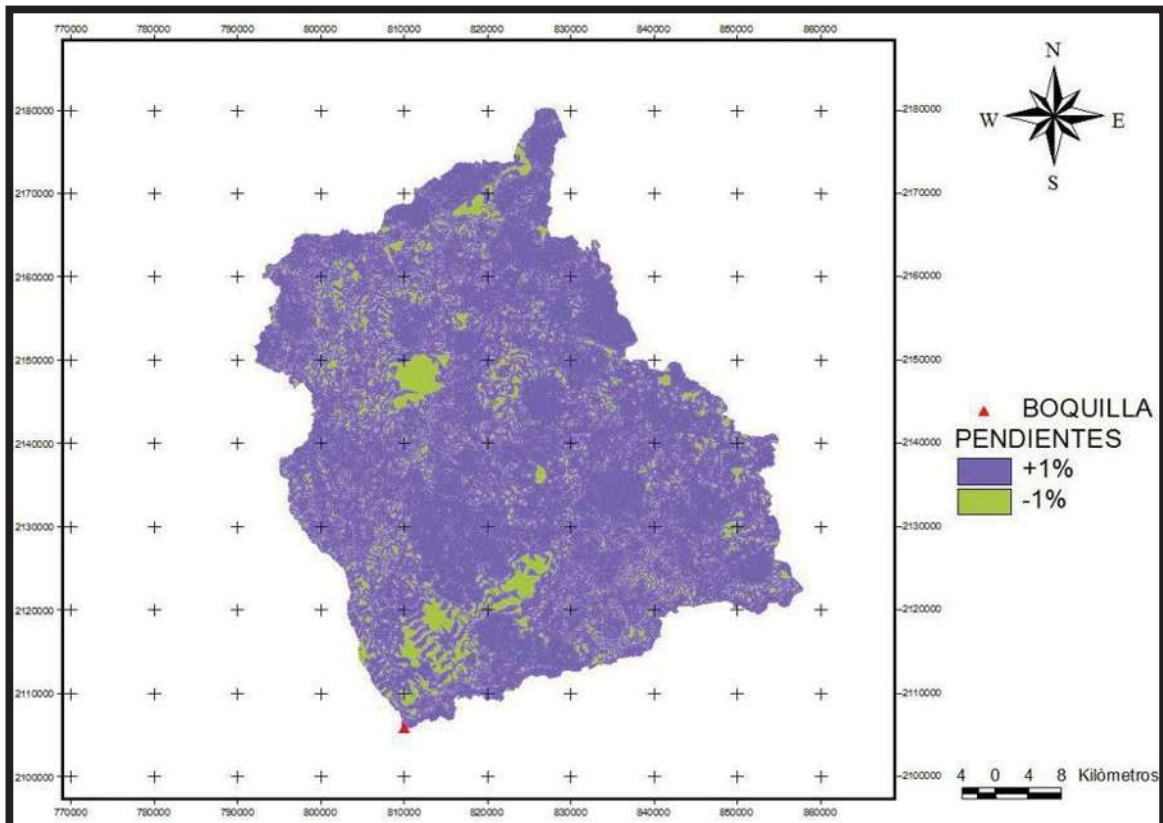
Precipitación media de las subcuencas por el método de las isoyetas

7.4. Número de escurrimiento.

Para la determinación del número de escurrimiento se debe de tener la información de uso de suelo, tipo de suelo y pendientes mayores y menores al 1% del terreno, la información de uso y tipo de suelo como ya se mencionó, fue proporcionada por el INEGI, las pendientes se obtienen por medio del MDT, los resultados de estas son los siguientes:

	ÁREA (Km. ²)	ÁREA (%)
PENDIENTES <1%	520.31	19.00
PENDIENTES >1%	2218.88	81.00
SUMA	2739.19	100.00

Zonificación y Cuantificación de pendiente en la cuenca Pastoría.



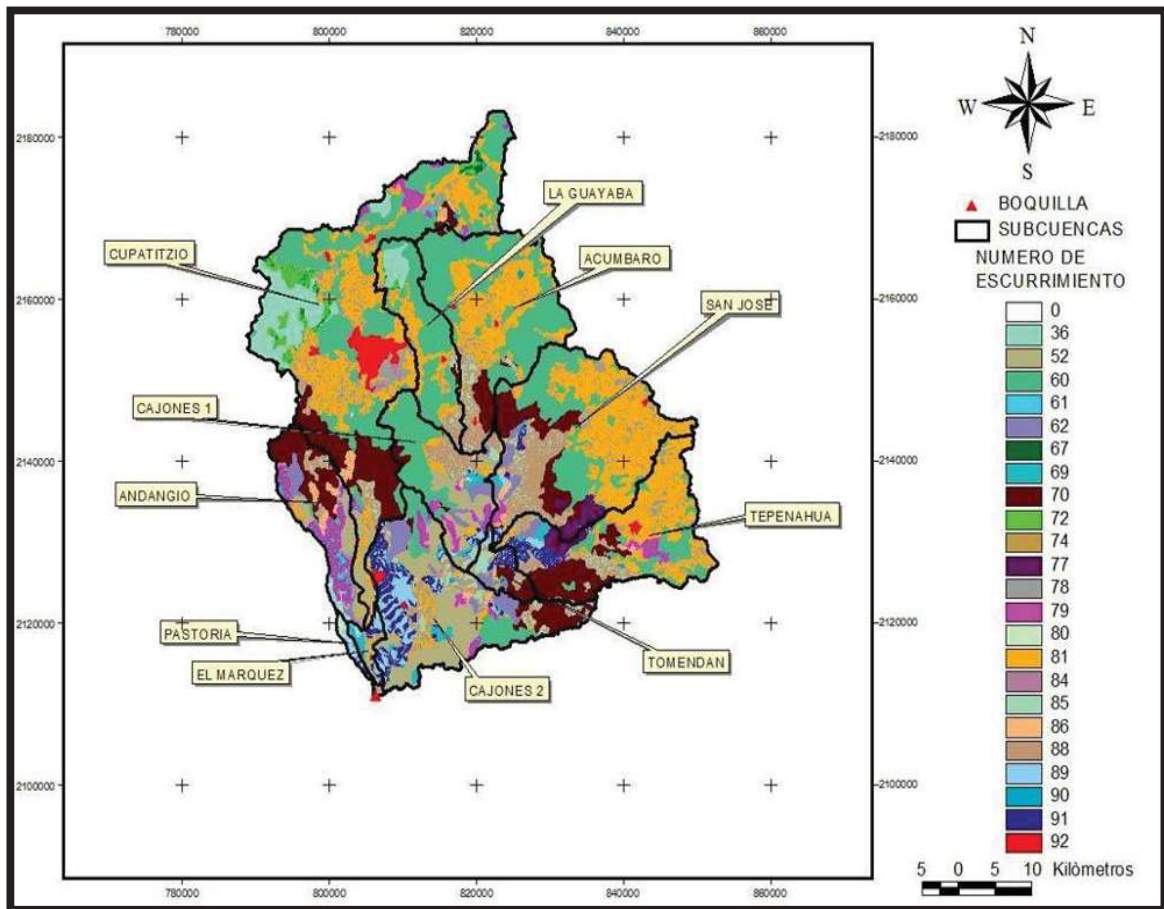
Mapa de pendientes de la cuenca Pastoría.

De la intersección de los tres mapas y asignado el correspondiente N (Anexo Tabla Número de Escurrimiento) para cada área, se obtiene la tabla y mapa siguiente:

Uso de suelo	Tipo de suelo	Pendiente	Área (Km ²)	Área (%)	N	N*Área (%)
Agua	-	-	0.18	0.01	0	0.00

Uso de suelo	Tipo de suelo	Pendiente	Área (Km ²)	Área (%)	N	N*Área (%)
Bosque normal	A	-	93.75	3.42	36	1.23
Bosque espeso	B	-	172.29	6.29	52	3.27
Bosque normal	B	-	731.79	26.72	60	16.03
Pastizal	B	< 1%	15.74	0.57	61	0.35
Bosque espeso	C	-	71.12	2.60	62	1.61
Pastizal	B	>1%	10.41	0.38	67	0.25
Bosque espeso	D	-	25.63	0.94	69	0.65
Bosque normal	C	-	287.91	10.51	70	7.36
Área agrícola	B	<1%	21.84	0.80	72	0.57
Pastizal	C	< 1%	5.22	0.19	74	0.14
Bosque normal	D	-	28.32	1.03	77	0.80
Área agrícola	B	< 1%	171.59	6.26	78	4.89
Pastizal	B	> 1%	70.69	2.58	79	2.04
Pastizal	D	< 1%	5.19	0.19	80	0.15
Área agrícola	B	> 1%	570.96	20.84	81	16.88
Zona urbana	B	-	2.96	0.11	84	0.09
Área agrícola	C	< 1%	65.14	2.38	85	2.02
Pastizal	C	> 1%	25.88	0.94	86	0.81
Área agrícola	C	> 1%	184.67	6.74	88	5.93
Pastizal	D	> 1%	62.64	2.29	89	2.04
Zona urbana	C	-	3.65	0.13	90	0.12
Área agrícola	D	> 1%	72.34	2.64	91	2.40
Zona urbana	D	-	39.26	1.43	92	1.32
Suma			2739.19	100.00		70.96

Número de Escurrimiento de la cuenca general.



Mapa del número de escurrimiento N de la cuenca Pastoria.

El número de escurrimiento correspondiente a cada una de las subcuencas se muestra a continuación.

SUBCUENCA	NÚMERO DE ESCURRIMIENTO (N)
LA PASTORÍA	80.48
TOMENDAN	78.66
ACÚMBARO	70.49
CAJONES 1	67.28
EL MÁRQUEZ	77.53
LA GUAYABA	65.73
SAN JOSÉ	75.26
TEPENAHUA	76.28
ANDANGIO	70.43
CAJONES 2	70.75

SUBCUENCA	NÚMERO DE ESCURRIMIENTO (N)
CUPATITZIO	67.82
CUENCA GENERAL	70.96

Número de escurrimiento de cada una de las subcuencas que conforman a la cuenca Pastoría.

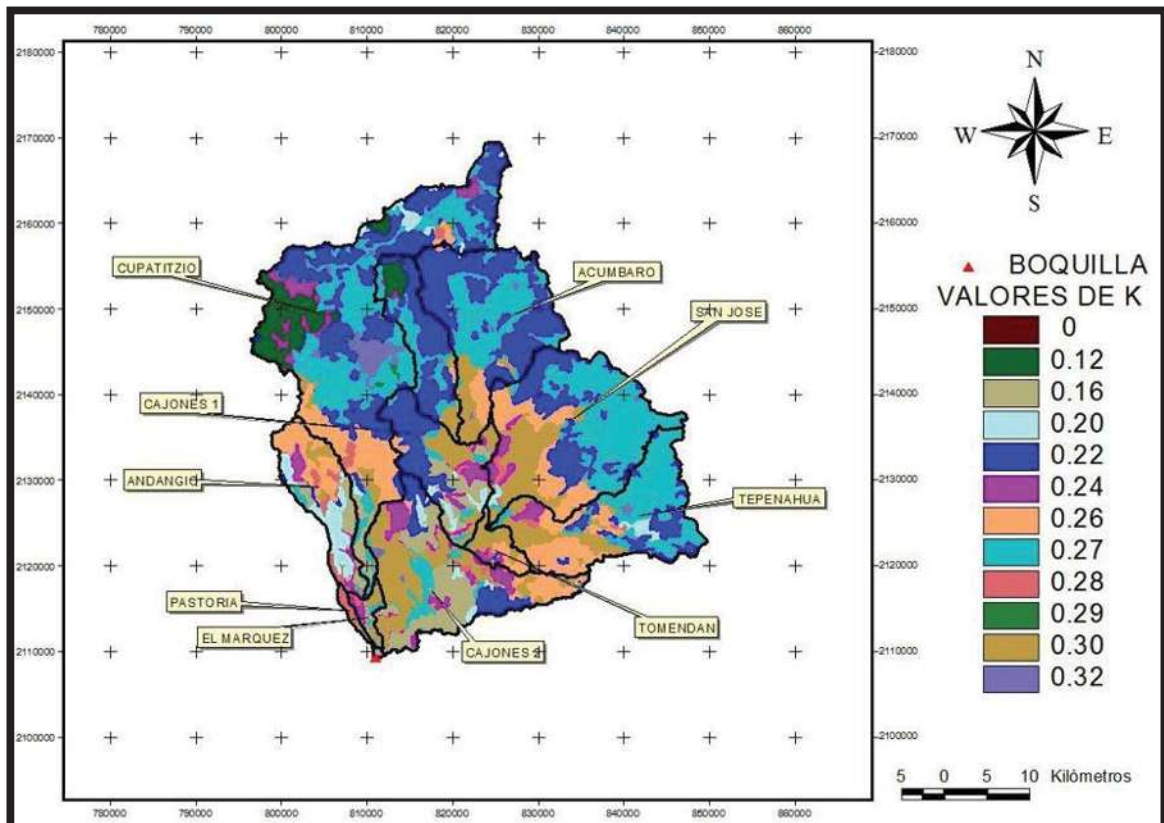
El procedimiento utilizado de manera general para la determinación del número de escurrimiento, agiliza los cálculos dando resultados en menor tiempo y con la misma calidad que si se obtuvieran por subcuencas separadas.

7.5. Parámetro K

El parámetro K se determina a partir del tipo y uso de suelo, mediante el empleo de las cartas editadas por el INEGI y del conocimiento de la zona de estudio. Con esta información se clasifican los suelos de la cuenca con lo que se obtiene un mapa del coeficiente K para la combinación de tipo y uso de suelo como se muestra en la tabla y figura siguiente (el valor de K se determina a partir de una tabla de la NOM-011, ver anexo).

Uso de Suelo	Tipo de suelo	Área (Km ²)	Área (%)	K	K*Área (%)
Agua	-	0.18	0.01	0.00	0
Bosque normal	A	93.73	3.42	0.12	0.004
Bosque espeso	B	172.29	6.29	0.16	0.010
Pastizal	C	86.43	3.16	0.2	0.006
Bosque normal	B	731.76	26.71	0.22	0.059
Pastizal	B	128.98	4.71	0.24	0.011
Bosque normal	C	316.17	11.54	0.26	0.030
Área Agrícola	B	742.60	27.11	0.27	0.073
Pastizal Inducido	C	49.35	1.80	0.28	0.005
Zona urbana	B	2.96	0.11	0.29	0.000
Área Agrícola	C	371.84	13.57	0.3	0.041
Zona Urbana	C	42.91	1.57	0.32	0.005
SUMA:		2739.19	100		0.245

Quantificación del coeficiente K por tipo y uso de suelo en la cuenca



Zonificación del coeficiente K de la cuenca Pastoría.

Así el Parámetro K para la cuenca resulta de 0.2450.

Para cada subcuenca el resultado del parámetro K se puede ver a continuación en la siguiente tabla.

SUBCUENCA	K
LA PASTORÍA	0.26
TOMENDAN	0.28
ACÚMBARO	0.25
CAJONES 1	0.23
EL MÁRQUES	0.26
LA GUAYABA	0.23
SAN JOSÉ	0.26
TEPENAHUA	0.26
ANDANGIO	0.23
CAJONES 2	0.24
CUPATITZIO	0.24
CUENCA FRANCISCO J. MÚGICA	0.25

Parámetros K de las subcuencas.

7.6. Tiempo de concentración (Tc)

Como bien se sabe el cálculo del tiempo de concentración que mejores resultados da en México es la fórmula de Kirpch.

Con lo expuesto antes se obtiene un valor del tiempo de concentración (tc) para cada subcuenca, como se muestra en la siguiente tabla.

SUBCUENCA	TC (hr)
LA PASTORÍA	2.41
TOMENDAN	2.55
ACÚMBARO	4.03
CAJONES 1	7.78
EL MARQUEZ	3.93
LA GUAYABA	5.23
SAN JOSÉ	8.69
TEPENAHUA	6.14
ANDANGIO	10.51
CAJONES 2	15.38
CUPATITZIO	24.33
GENERAL	12.31

Tiempos de concentración para cada una de las subcuencas

7.7. Tiempo de retraso (Tr)

El tiempo de retraso que se utiliza en el programa HEC HMS debe de ingresarse en minutos, por lo cual se debe de hacer conversión del tiempo de concentración que se calcula en horas.

SUBCUENCA	Tr (min)
LA PASTORÍA	86.76
TOMENDAN	91.8
ACÚMBARO	145.08
CAJONES 1	280.08
EL MARQUEZ	141.48
LA GUAYABA	188.28
SAN JOSÉ	312.84
TEPENAHUA	221.04
ANDANGIO	378.36
CAJONES 2	553.68

SUBCUENCA	Tr (min)
CUPATITZIO	875.88
GENERAL	443.16

Tiempos de retraso para cada una de las subcuencas

7.8. Parámetro R calculado

Los valores calculados de R, son por medio de las dos formas de llenado, haciendo uso de una estación base cercana al centro de gravedad de la cuenca o subcuencas, y por medio de una estación ficticia, generada al centro de gravedad de la cuenca, el parámetro R utilizado en cada caso se muestra a continuación.

CUENCA	R
ACÚMBARO	0.641
ANDANGIO	0.6
CAJONES 1	0.697
CAJONES 2	0.617
CUPATITZIO	0.709
EL MARQUEZ	0.593
LA GUAYABA	0.746
LA PASTORIA	0.494
SAN JOSE	0.714
TEPENAHUA	0.581
TOMENDAN	0.081
GENERAL	0.946

Parámetro R calculado en base a una estación base

CUENCA	R
ACÚMBARO	0.941
ANDANGIO	0.915
CAJONES 1	0.981
CAJONES 2	0.655
CUPATITZIO	1.060
EL MARQUEZ	0.662
LA GUAYABA	1.047
LA PASTORIA	0.718
SAN JOSE	0.925
TEPENAHUA	0.730
TOMENDAN	0.752
GENERAL	1.101

Parámetro R calculado en base a una estación ficticia

7.9. Parámetro R por medio de mapas

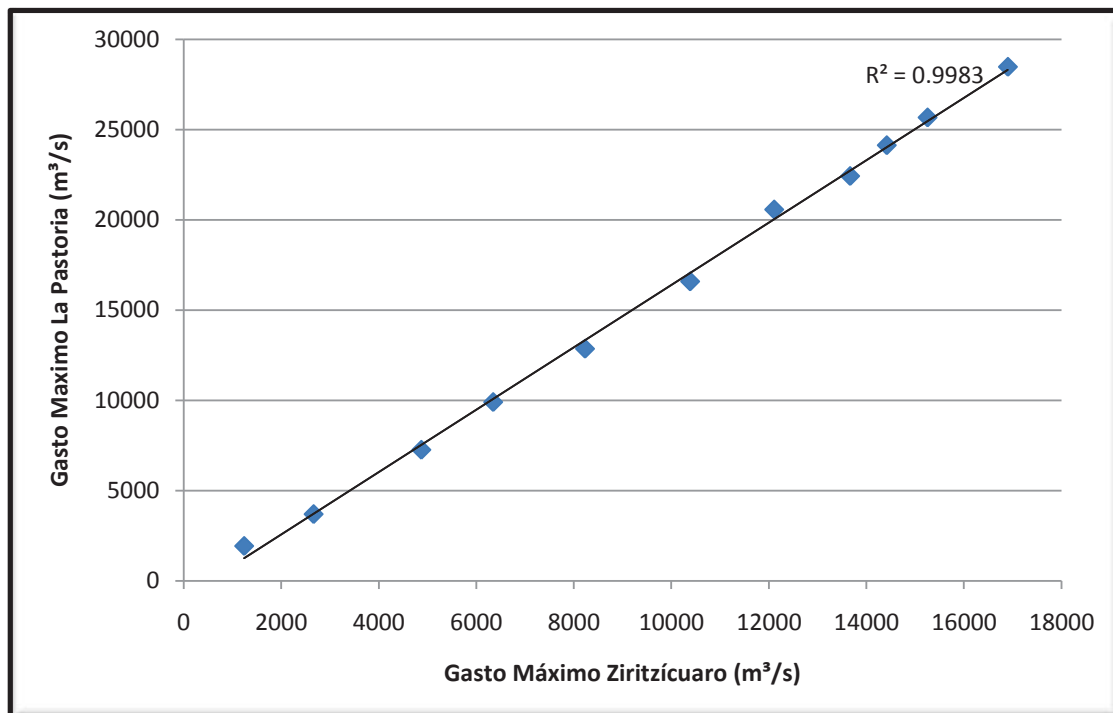
Utilizando los mapas generados de las diferentes intensidades, se obtiene el parámetro R para cada una de las subcuencas, el parámetro R se calculó en forma masiva.

CUENCA	R
ACÚMBARO	0.441
ANDANGIO	0.408
CAJONES 1	0.545
CAJONES 2	0.717
CUPATITZIO	0.384
EL MARQUEZ	0.755
LA GUAYABA	0.379
LA PASTORÍA	0.647
SAN JOSÉ	0.565
TEPENAHUA	0.510
TOMENDAN	0.663
GENERAL	0.495

Parámetro R por medio de mapas

7.10. CÁLCULO DEL GASTO MÁXIMO A PARTIR DE LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA.

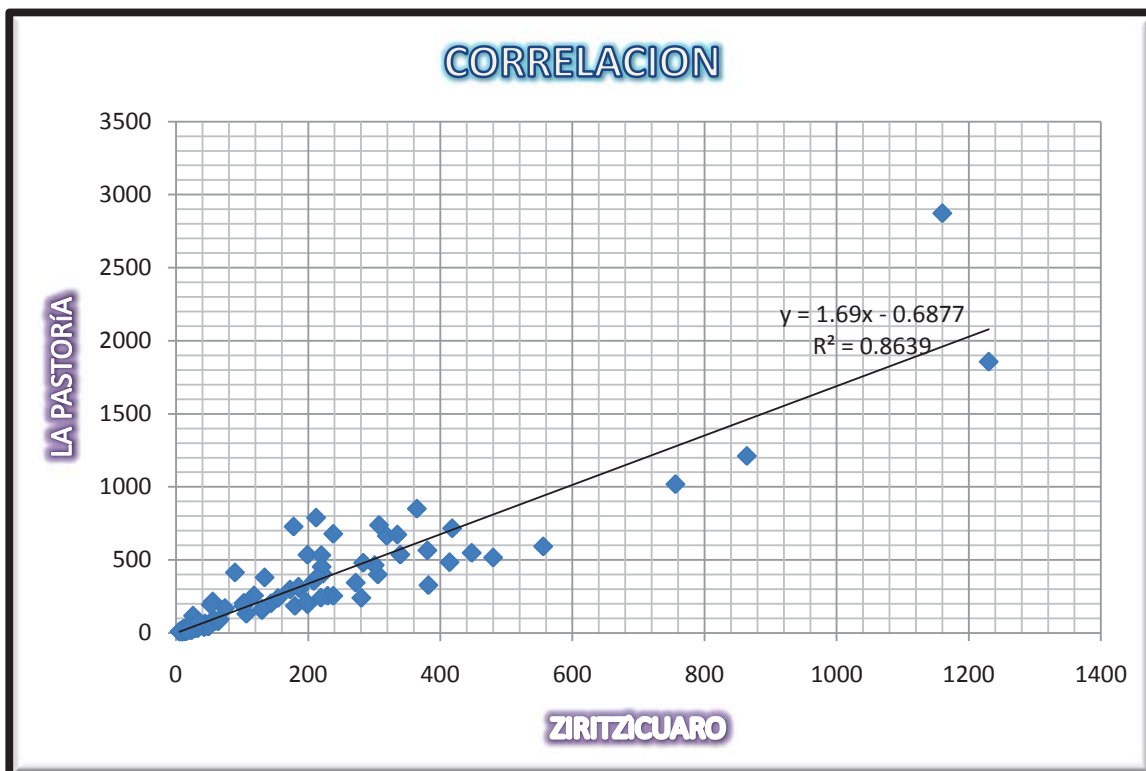
La consistencia de datos máximos obtenida se puede observar en la siguiente figura.



Consistencia de gastos máximos de la estación La Pastoría y la estación Zirizícuar.

El procedimiento para evaluar la consistencia de datos consiste en graficar los escurrimientos máximos de la estación Zirizícuar en el eje de las ordenadas y localizar en el eje de las abscisas el escurrimiento máximo de la estación La Pastoría. Hecho lo anterior se identifica en la gráfica algún cambio en la pendiente de línea recta que une los puntos de escurrimiento máximo, si fuera así indicaría que la estación comenzó a operar en otras condiciones diferentes a partir del año en el que se presenta dicho cambio de pendiente. En este caso como se observa existe una buena consistencia de datos.

Realizando una regresión lineal de las estaciones zirizícuar y La Pastoría, el resultado se muestra a continuación.



Correlación espacial de gasto máximo mensual de la estación La Pastoría con la estación Zirizicuaró

Como el valor de la correlación mes a mes es menor a la correlación mensual se tomará para el llenado de datos la ecuación determinada con la regresión lineal obtenida en la grafica anterior.

MES	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN (R ²)
ENERO	0.7800
FEBRERO	0.6534
MARZO	0.9806
ABRIL	0.9980
MAYO	0.6612
JUNIO	0.8682
JULIO	0.8244
AGOSTO	0.5151
SEPTIEMBRE	0.9053
OCTUBRE	0.9833
NOVIEMBRE	0.8064
DICIEMBRE	0.8443

Correlación mes a mes de los gastos máximos mensuales

Con la ecuación de la regresión lineal $y = 01.69x - 0.6877$ obtenida de la gráfica de correlación se realizó el llenado de datos obteniéndose las siguientes tablas.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAY	JUN	JUL	AGOST	SEPT	OCT	NOV	DIC	MAXIMO
1964								116	501	328	15.8	32.9	501
1965	13.7	28.3	20.8	11.5	16.2	49.7	224	528	242	623	20.9	15.4	623
1966	12.5	24.2	13.9	12.5	14.7	546	706	363	265	334	27.9	35.2	706
1967	666	18.5	14.4	19.7	18.5	194	349	455	1156	470	45.6	26.1	1156
1968	20.1	33	65.7	12	23.8	345	298	305	536	197	40.3	43.7	536
1969	19	15.6	11	18.2	18.2	141	499	646	703	332	18	17	703
1970	27	18	18.4	10	11	251	802	602	547	167	33.8	28.4	802
1971	26.2	22.6	14.2	11	13.5	117	218	349	788	694	28.4	19.5	788
1972	25.1	12.5	13	12	21.7	186	549	401	204	69.9	255	17.5	549
1973	26	23	20.2	240	119	157	665	739	1019	485	48.7	21.7	1019
1974	18.2	15.1	13.5	14	46	465	405	729	593	216	91.4	38.7	729
1975	33.1	15.6	12.1	11.5	16.4	80	481	317	1857	80	35	16	1857
1976	14.3	17.2	22.8	26.6	17.7	80.6	517	533	454	1212	790	44.4	1212
1977	18.7	26.5	12.1	11.3	11.7	257	381	171	2873	165	30.5	27.8	2873
1978	29	12.2	14.8	19	10.5	241	255	328	537	356	33	19.3	537
1979	16	16	10.9	10	16	30	195	674	679	29	16	16	679
1980	415	17.5	11.9	12.8	11.9	207	80	382	242	95	50.2	13.2	415
1981	132	19.3	9.5	10	11.9	212	566	851	717	186	75.4	15.6	851
1982	24.93	19.34	13.01	11.64	77.39	69.28	144.7	92.26	1055	53.26	80.43	16.09	1055
1983	17.18	9.758	8.781	7.551	563.1	37.62	677	349.3	296.9	157.9	617	65.95	677
1984	40.9	14.13	9.496	8.722	10.95	109.2	785.2	222.8	526.3	413.4	152.8	25.3	785.2
1985	18.61	9.893	14.46	11.08	18.6	347.8	ND	315.8	508.4	206.6	43.67	55.29	508.4
1986													
1987													
1988													
1989	13.15	10.74	11.19	9.48	9.88	42.97	143.7	456	689.5	176.2	29.92	24.29	689.5
1990													
1991													
1992													
1993													
1994													
1995	13	12	9.5	9	19.8	82.4	316	641	309	40.1	22.8	25.4	641
1996	22.1	12.2	9.9	9.9	13.1	152	148	551.1	335	521	28.8	28.8	551.1
1997	12.6	12.2	11	10.7	20.8	28	76.8	80	240	1004	66.6	13.8	1004
1998	11.7	9.8	8.9	8.6	8.9	29.6	75.6	268	465	688	32.9	21	688
1999	15.6	10.8	13.2	9.6	9.8	312	131	152	484	157	16.8	14.4	484
MAXIMO	666	33	65.7	240	563.1	546	802	851	2873	1212	790	65.95	2873

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAY	JUN	JUL	AGOST	SEPT	OCT	NOV	DIC	MAXIMO
MEDIA	63.02	16.89	15.13	20.68	42.63	176.7	372.6	414.9	672.2	337.7	98.13	26.38	843.5

Gastos máximos estación La Pastoría llenados con estación Ziritzícuaro.

Con ayuda de la estación hidrométrica encontrada agua abajo del punto de estudio, se determino los gastos ajustando una función de distribución con el programa "AX", utilizando los gastos máximos anuales de los registros, la función de distribución que mejor ajuste es la Doble Gumbel como se observa en la siguiente figura.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	313.775	-----	313.775	-----
Lognormal	219.130	202.943	276.824	1029.813
Gumbel	244.585	-----	297.533	-----
Exponencial	199.528	-----	327.097	-----
Gamma	1030.730	1030.730	11111.000	11111.000
Doble Gumbel	141.881			

Mínimo error estándar: 141.881
Calculado por la función: Doble Gumbel

Error cuadrático de las diferentes funciones de distribución

Con la función de distribución Doble Gumbel se obtienen los gastos siguientes.

Tr	Q
2	687.56
5	974.8
10	1509.4
25	2028.41
50	2625.6
100	3053.61
200	3474.01
500	4022.11
1000	4260.74

Tr	Q
10000	4260.74

Gastos de la estación hidrométrica La Pastoría

7.11. ESQUEMAS

7.11.1. Cuenca Pastoría sin subcuencas

Escenario CSSL1RC1

Sólo considera la precipitación de una estación para el ajuste de las funciones de distribución para la obtención de las precipitaciones para un periodo de retorno, sin embargo, se toma en consideración la precipitación media de la cuenca por el método de los polígonos de Thiessen, de esta forma se toma en consideración la influencia de todas las estaciones cercanas a la cuenca.

El problema principal consiste en tomar solo una estación en consideración, aunque esta estación es la más cercana al centroide y por lo cual tiene mayor similitud a la lluvia media de la cuenca, determinada a partir del método de las Isoyetas, no se toma en cuenta las precipitaciones de las demás estaciones que pueden estar un poco mas retiradas del centroide, de una forma directa.

El parámetro R como es calculado, tiene mucha relación con la estación base que se tomo, de tal manera que este puede ser muy fácil de variar aunque las cuencas se encuentren muy cercas unas de otras, siempre y cuando la estación tomada sea otra.

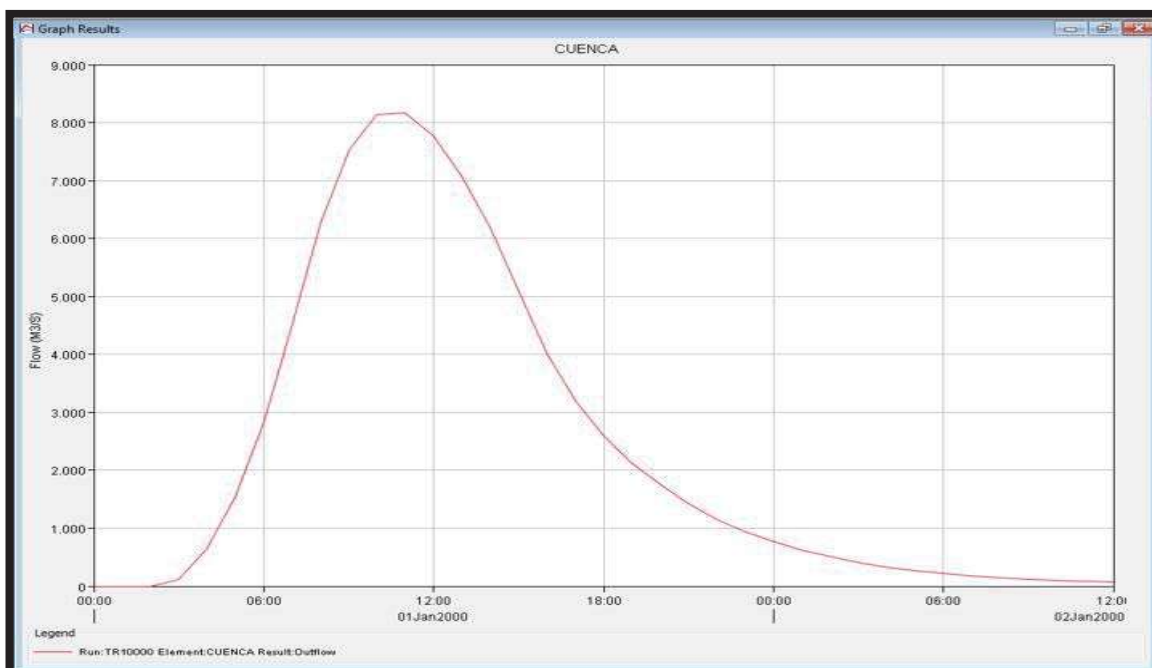
Las IDTr son calculadas con una regresión lineal simple, tomando una precipitación de dos hora para cada periodo y la precipitación de 24 horas para el mismo periodo de retorno, generando una regresión lineal con estos dos puntos y adaptando una ecuación exponencial en una gráfica logarítmica, ya que forma una línea recta y generando así las PDTr, con las cuales se realiza una división para cada hora obtenidas de las PDTr entre las horas que le corresponde, de lo anterior se obtiene las IDTr.

El resultado de los gastos simulados con el software HEC HMS para el Hidrograma Unitario Triangular (HUT), se muestra a continuación.

Tr	Q
2	474,1
5	1096,8
10	1595,2
25	2297,6
50	2874,1
100	3458,6

Tr	Q
200	4083,5
500	4956,6
1000	5660
10000	8168,6

Gastos del escenario 1 por el método del HUT



Gasto del escenario CSSL1RC1 Tr10,000

Deforma comparativa, en la siguiente tabla se muestran los gastos determinados por los distintos métodos opcionales, con los cuales se determino el gasto, no obstante, estos métodos son para cuencas pequeñas, por lo cual su variación puede ser muy fluctuante, con respecto a los gastos obtenidos por el método del Hidrograma Unitario Triangular.

MÉTODO EMPLEADO	PERIODO DE RETORNO (años)									
	2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000
	Q máximo (m³/s)									
Racional	6,141.8	8,398.0	9,890.8	11,775.7	13,181.6	14,587.4	16,005.7	17,913.3	19,403.0	24,478.3
Creaguer	11,243.17									
Lowry	13,510.70									
Chow	838.3	1,734.2	2,426.3	3,382.1	4,141.7	4,933.1	5,758.3	6,903.1	7,820.3	11,057.7

Gastos del escenario CSSL1RC1 por diversos métodos

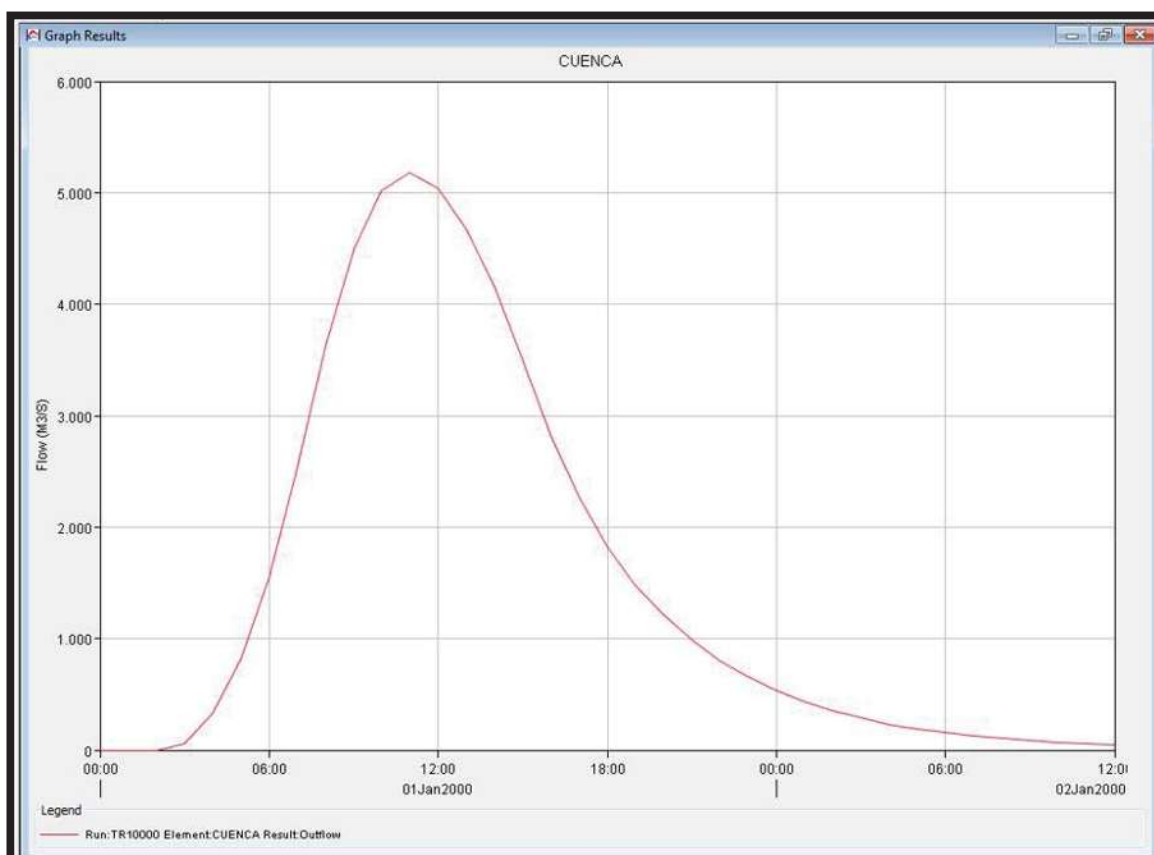
Escenario CSSL1RM1

Es prácticamente igual al escenario 1, la gran diferencia consiste en la utilización del parámetro R, el cual es calculado por medio de mapas, como bien se sabe estos mapas son isoyetas de intensidades, las cuales son obtenidas por estaciones pluviométricas con registros de un minuto. La ventaja de este método consiste en tener zonas o áreas bien definidas, de esta forma cuando la cuenca se encuentra en diferentes isoyetas, se realiza una ponderación para la determinación del parámetro R.

La determinación del parámetro R por medio de mapas es muy buena cuando las estaciones se encuentran retiradas del centro de gravedad, debido a la utilización de datos muy distantes, y el parámetro R, es una interpolación que toma en cuenta diversas estaciones meteorológicas de todo el estado de Michoacán o según sea su caso, es decir, el estado en donde se realice el estudio.

Tr	Q
2	175.8
5	513.1
10	806.9
25	1239.2
50	1598.1
100	1982.9
200	2393.5
500	2976.1
1000	3451.6
10000	5176.3

Gastos del escenario CSSL1RM1 por el método del HUT



Gasto del escenario CSSL1RM1 Tr10,000

MÉTODO EMPLEADO	PERIODO DE RETORNO (años)									
	2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000
	Q máximo (m³/s)									
Racional	3226.20	4411.37	5195.50	6185.59	6924.08	7662.56	8407.57	9409.61	10192.12	12858.07
Creaguer	11,243.17									
Lowry	13,510.70									
Chow	94.64	324.52	534.44	853.58	1124.63	1419.66	1738.42	2196.12	2573.50	3963.86

Gastos del escenario CSSL1RM1 por diversos métodos

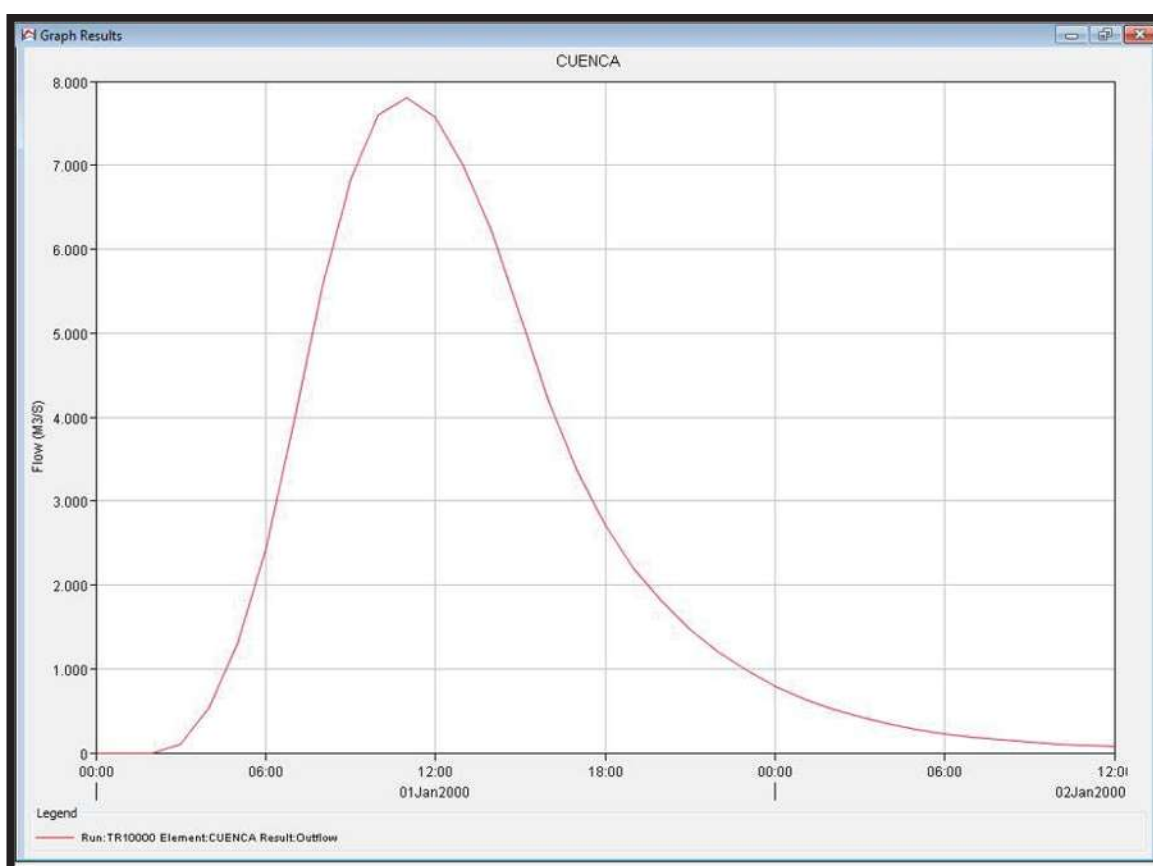
Escenario CSSL1RM2

La diferencia principal de este escenario con respecto a los otros dos escenarios es la utilización del método de CHEN para la determinación de las IDTr, el cual no utiliza una regresión lineal para su determinación, utiliza un método experimental anteriormente expuesto.

Se debe de tener presente que este método es utilizado más frecuentemente en la hidrología urbana, por lo cual, este método es para periodos de retorno pequeños.

Tr	Q
2	433.7
5	1022
10	1496.1
25	2166.6
50	2708.3
100	3278.8
200	3878.9
500	4718.3
1000	5395.3
10000	7809.4

Gastos del escenario CSSL1RM2 por el método del HUT



Gasto del escenario CSSL1RM2 Tr10,000

MÉTODO EMPLEADO	PERIODO DE RETORNO (años)									
	2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000
	Q máximo (m³/s)									

MÉTODO EMPLEADO	PERIODO DE RETORNO (años)									
	2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000
	Q máximo (m³/s)									
Racional	7264.5	9933.2	11698.9	13928.3	15591.2	17254.0	18931.6	21187.9	22949.9	28952.91
Creaguer	11,243.17									
Lowry	13,510.70									
Chow	276.63	594.24	892.02	1346.41	1728.09	2137.04	2569.38	3171.40	3646.18	5316.65

Gastos del escenario CSSL1RM2 por diversos métodos

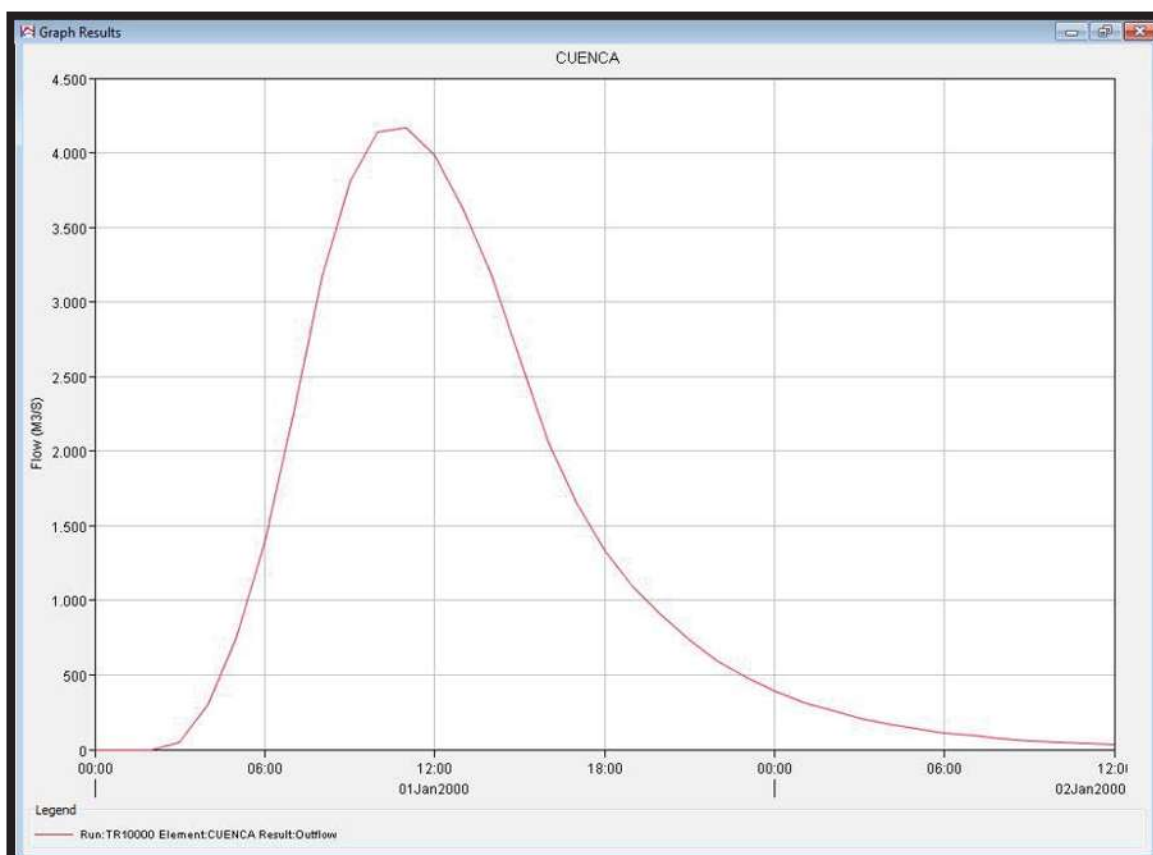
Escenario CSSL2RC1

El traslado de las precipitaciones máximas al centro de gravedad se realiza, generando una estación ficticia, por lo cual se toma en consideración las estaciones circundantes a la cuenca, el parámetro R es calculado, y las IDTr se realizan por medio de una regresión lineal.

Al generar una estación ficticia al centro de gravedad, se propician los requerimientos adecuados para el cálculo del parámetro R con los datos de la estación ficticia, esto implica una gran ventaja con respecto a la determinación de este parámetro, ya que al momento de determinarlo se toma en consideración las precipitaciones trasladadas al centro de gravedad de dicha estación.

Tr	Q
2	505,9
5	870,4
10	1343,3
25	1979,9
50	2453,3
100	2933,3
200	3422,7
500	4087,6
1000	4385,2
10000	4385,2

Gastos del escenario CSSL2RC1 por el método del HUT



Gasto del escenario CSSL2RC1 Tr10,000

MÉTODO EMPLEADO	PERIODO DE RETORNO (años)									
	2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000
	Q máximo (m³/s)									
Racional	6141.8	7484.8	8961.6	10711.7	11909.0	13062.9	14192.8	15670.7	16315.1	16315.1
Creaguer	11,243.17									
Lowry	13,510.70									
Chow	838.3	1346.6	1987.7	2832.7	3452.6	4076.2	4708.0	5561.2	5941.5	5941.5

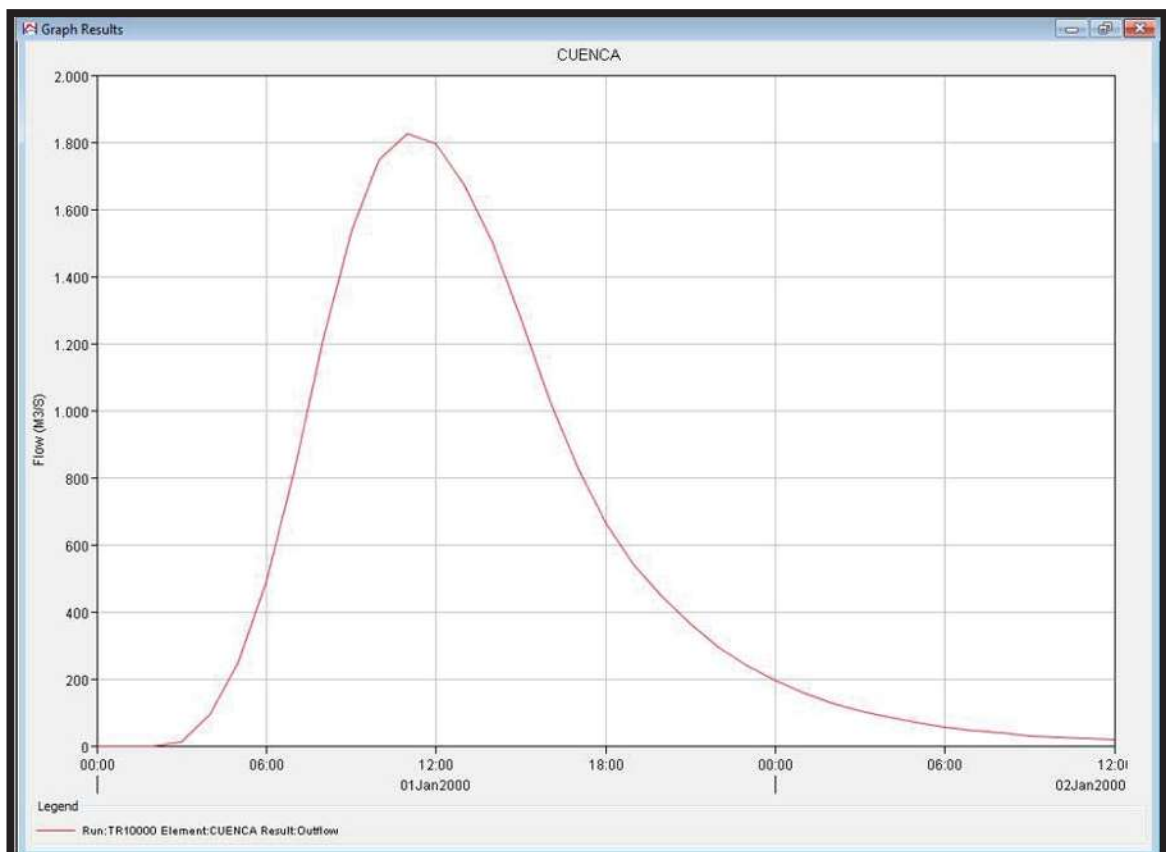
Gastos del escenario CSSL2RC1 por diversos métodos

Escenario CSSL2RM1

La determinación de los gastos se realiza considerando un traslado o generación de una estación ficticia, pero en vez de generar el parámetro R con estos datos, se calculan a partir de los mapas producidos por la SCT, al realizar lo anterior, se afecta directamente a los gastos, propiciando que estos bajen de manera significativa.

Tr	Q
2	88
5	210
10	393.6
25	665.8
50	880.7
100	1106.4
200	1343.3
500	1673.7
1000	1824.3
10000	1824.3

Gastos del escenario CSSL2RM1 por el método del HUT



Gasto del escenario CSSL2RM1 Tr10,000

MÉTODO EMPLEADO	PERIODO DE RETORNO (años)									
	2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000
	Q máximo (m³/s)									
Racional	2770.8	3376.7	4042.9	4832.5	5372.7	5893.2	6403.0	7069.7	7360.4	7360.4
Creaguer	11,243.17									

MÉTODO EMPLEADO	PERIODO DE RETORNO (años)									
	2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000
	Q máximo (m³/s)									
Lowry	13,510.70									
Chow	39.9	117.2	241.0	432.1	587.4	753.7	930.7	1181.0	1296.3	1296.3

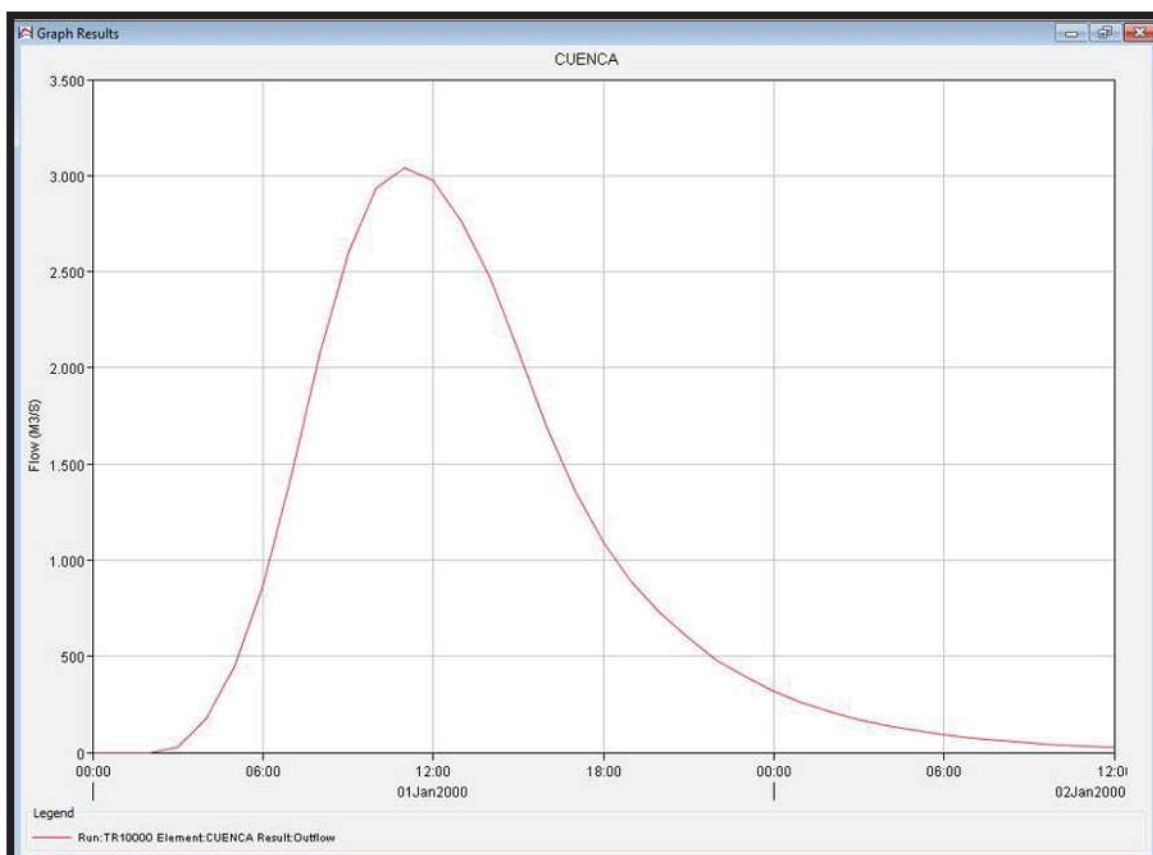
Gastos del escenario CSSL2RM1 por diversos métodos

Escenario CSSL2RM2

Al igual que en el anterior escenario, en éste se utiliza una estación ficticia en el centro de gravedad, el parámetro R determinado por medio de mapas y la aplicación del método de CHEN, el cual como anteriormente se menciono tiene un buen ajuste en periodos de retorno de 5 a 100 años.

Tr	Q
2	262.3
5	498.1
10	820.6
25	1269.6
50	1610.7
100	1961.4
200	2322.7
500	2828.7
1000	3042.2
10000	3042.2

Gastos del escenario CSSL2RM2 por el método del HUT



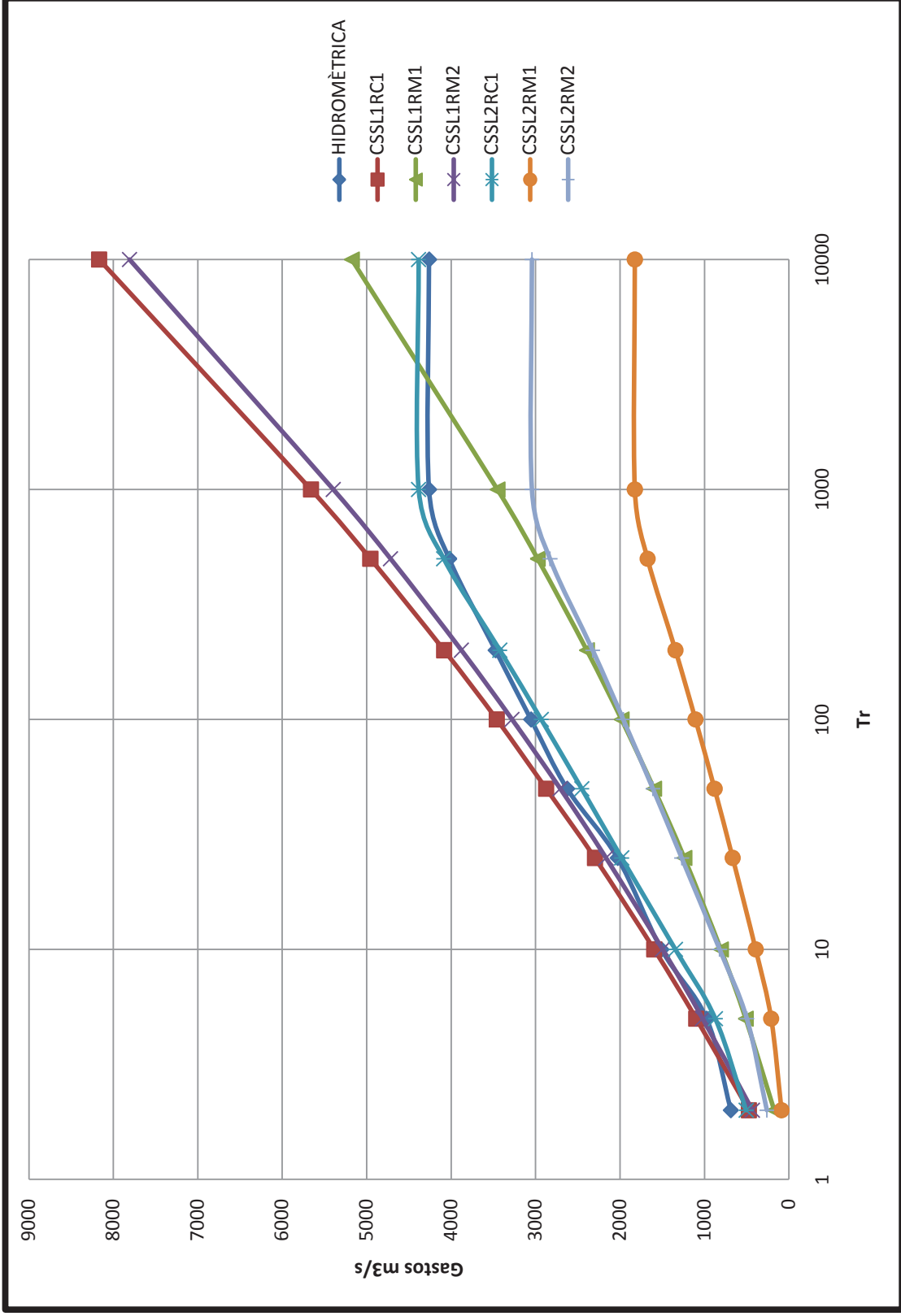
Gasto del escenario CSSL2RM1 Tr10,000

MÉTODO EMPLEADO	PERIODO DE RETORNO (años)									
	2	5	10	25	50	100	200	500	1,000	10,000
	Q máximo (m³/s)									
Racional	6239.2	7603.5	9103.6	10881.5	12097.8	13270.0	14417.7	15919.1	16573.7	16573.7
Creaguer	11,243.17									
Lowry	13,510.70									
Chow	111.4	280.7	450.0	719.7	953.2	1208.6	1483.3	1872.0	2183.1	3302.1

Gastos del escenario CSSL2RM1 por diversos métodos

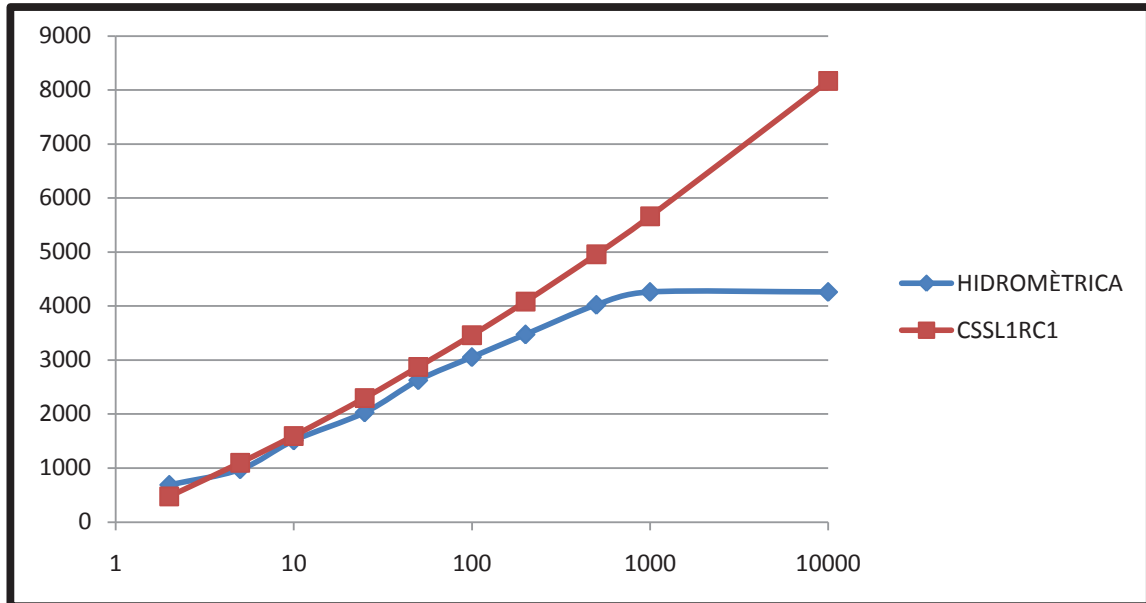
7.11.2. Análisis de la cuenca Pastoría sin subcuencas.

La forma más eficaz de observar la variación de los escenarios con respecto a los gastos calculados por la estación hidrométrica es de forma gráfica, en la siguiente figura se muestra la gráfica de los gastos por el método del Hidrograma Unitario Triangular para los diferentes periodos de retorno.



Gastos de los diversos escenarios y gasto de la estación hidrométrica

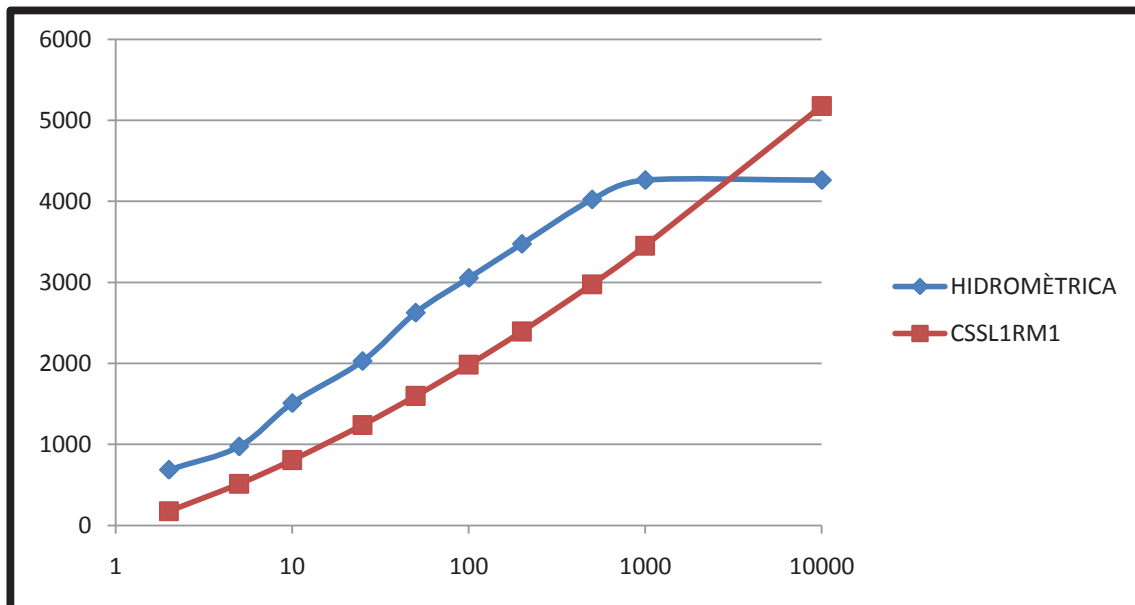
En el escenario CSSL1RC1 en los primeros periodos de retorno se mantiene un gasto muy parecido a los obtenidos por medio de la estación hidrométrica, hasta el periodo de retorno de 50 años se mantiene dicha semejanza, en cuanto a los demás periodos superiores, el gasto comienza a incrementar de manera significativa, es verdad que éste sobrediseño es favorable al lado de la seguridad, pero también una estructura muy sobrediseñada es muy costosa y no es conveniente en ocasiones su construcción, en la siguiente gráfica se observa la dimensión del gasto sobrediseñado.



Gastos de la estación hidrométrica y el escenario

El sobrediseño exagerado o no aceptable se comienza hacer a partir del periodo de retorno de 100 años, como se mencionó anteriormente, lo cual genera que las construcciones no sean favorables en lo económico, debido a las grandes dimensiones que la obra debe de tener para el control de este tipo de avenidas.

En el escenario CSSL1RM1 se tiene la siguiente comparativa.

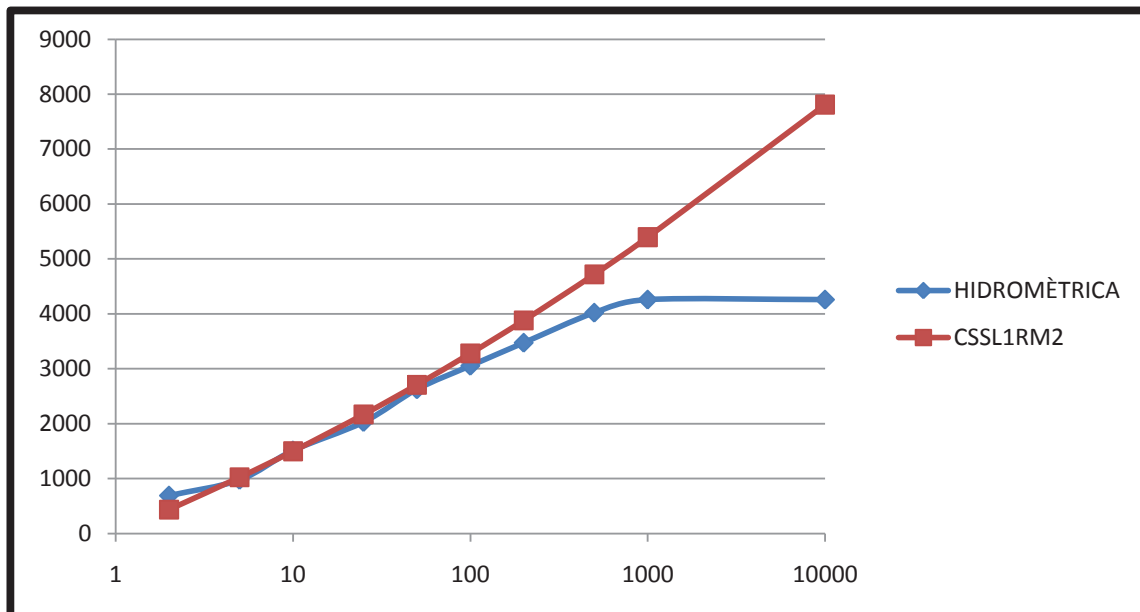


Gastos de la estación hidrométrica y el escenario CSSL1RM1

En este escenario el gasto es demasiado bajo, pero en cuestión de gastos a grandes periodos de retorno, este mejora como es en el caso del $tr_{10,000}$, lo cual influiría en la construcción de una presa si fuera el caso.

La disminución del gasto se debe a la gran disminución del parámetro R, recordemos que este parámetro es muy efectivo al no tener una estación cercana.

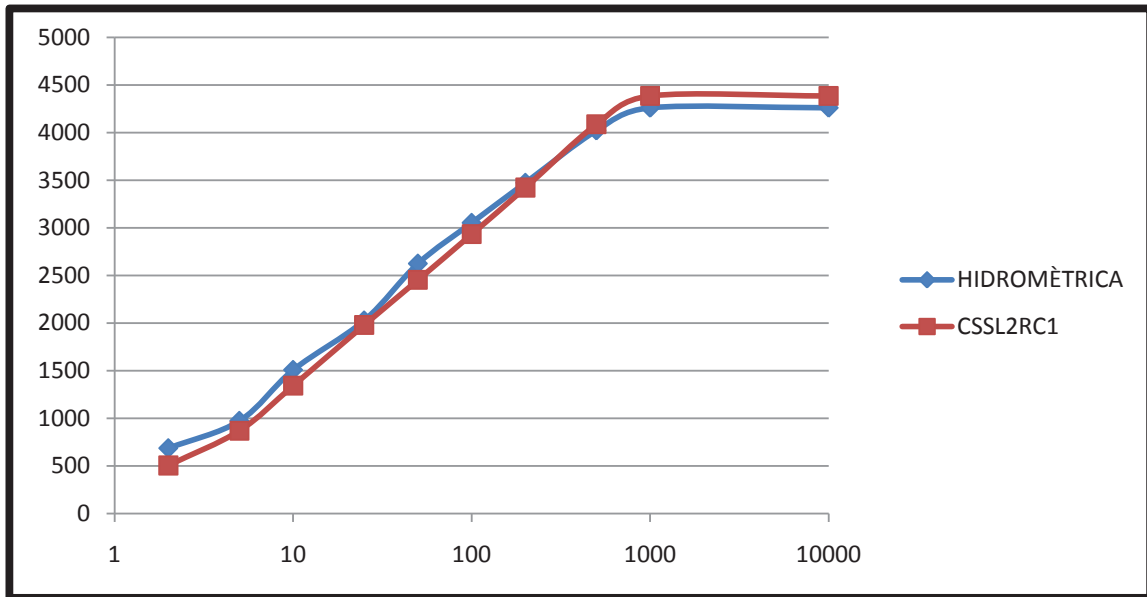
En el escenario CSSL1RM2, los gastos se ajustan bastante en los primeros periodos de retorno como es de 5 a 100 años, en cuanto a los periodos más grandes los gastos incrementan, no siendo factibles para nuestro estudio, sin embargo el método de la determinación de los gastos por medio de una estación base, la determinación del parámetro R por mapas y la aplicación del método de CHEN es muy efectiva para los periodos de retorno $5 \geq Tr \leq 100$.



Gastos de la estación hidrométrica y el escenario CSSL1RM2

En cuanto a los periodos de retorno menores de 5 años, los gastos disminuyen, por lo cual no es recomendable la determinación por este procedimiento para periodos menores, esto es conservadoramente, pero se recuerda que los gastos determinados por la estación hidrométrica es aguas abajo, así que no se toma en consideración buena parte de la cuenca que conformaría la ubicación de la estación hidrométrica, si esto se tomara en consideración, los gastos aumentarían, ahora bien debemos de recordar que algo peor que sobrediseñar una estructura es dar valores más bajos que los que puedan aparecer en un determinado periodo de retorno.

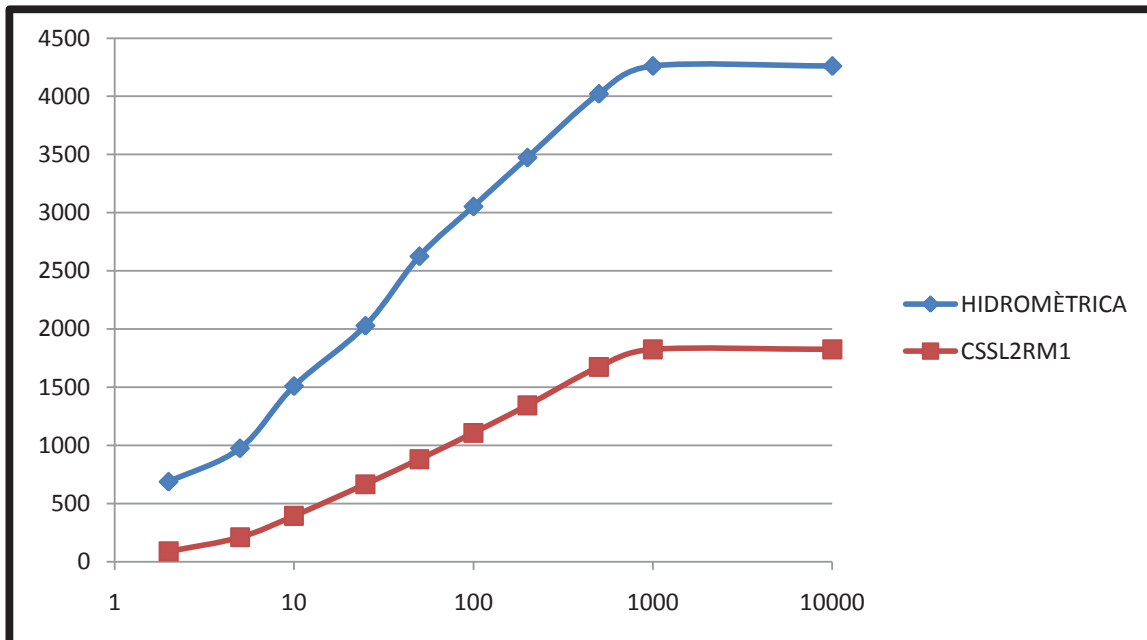
En el escenario CSSL2RC1, los gastos son muy semejantes.



Gastos de la estación hidrométrica y el escenario CSSL2RC1

Hasta el periodo de retorno de 200 años se tienen valores de gastos más pequeños, pero con diferencias bastante mínimas, pero a partir del periodo de retorno de 500 años se tienen sobrediseños muy aceptables, lo cual nos muestra que este procedimiento da valores muy cercanos a la realidad.

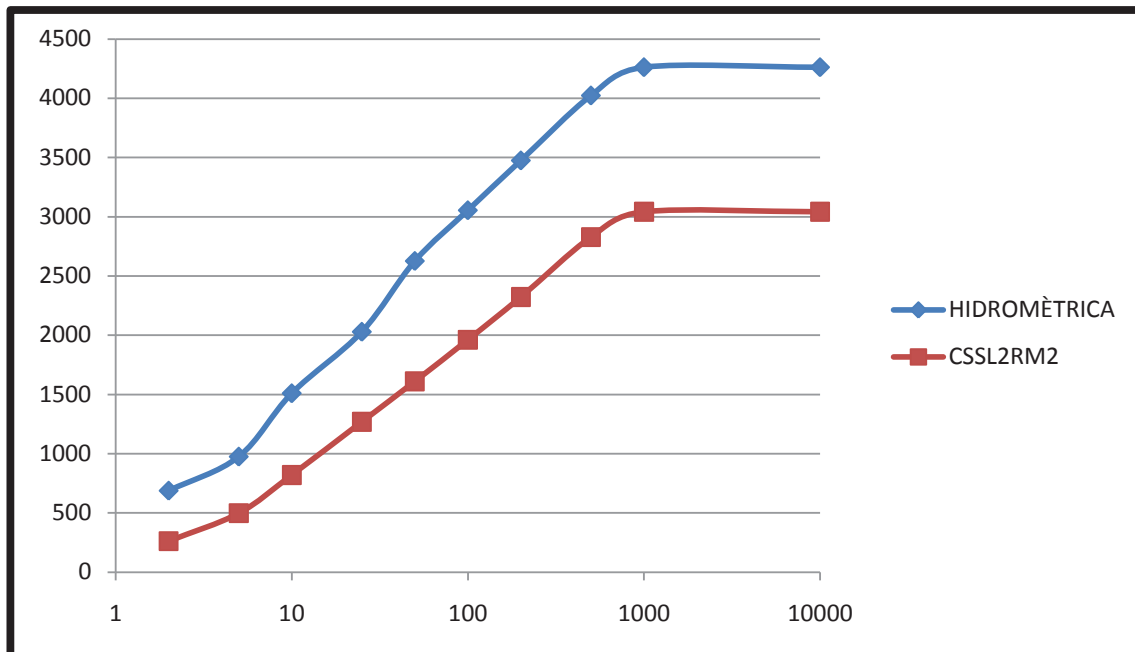
En el escenario CSSL2RM1, los gastos no son aceptables.



Gastos de la estación hidrométrica y el escenario CSSL2RM1

Estos gastos bajan debido a la aplicación de un parámetro R mucho menor, lo que genera que los gastos bajen de forma considerable, aunado a lo anterior, el traslado de precipitaciones en el centro de gravedad disminuyó, con lo anterior los resultados son no aceptables.

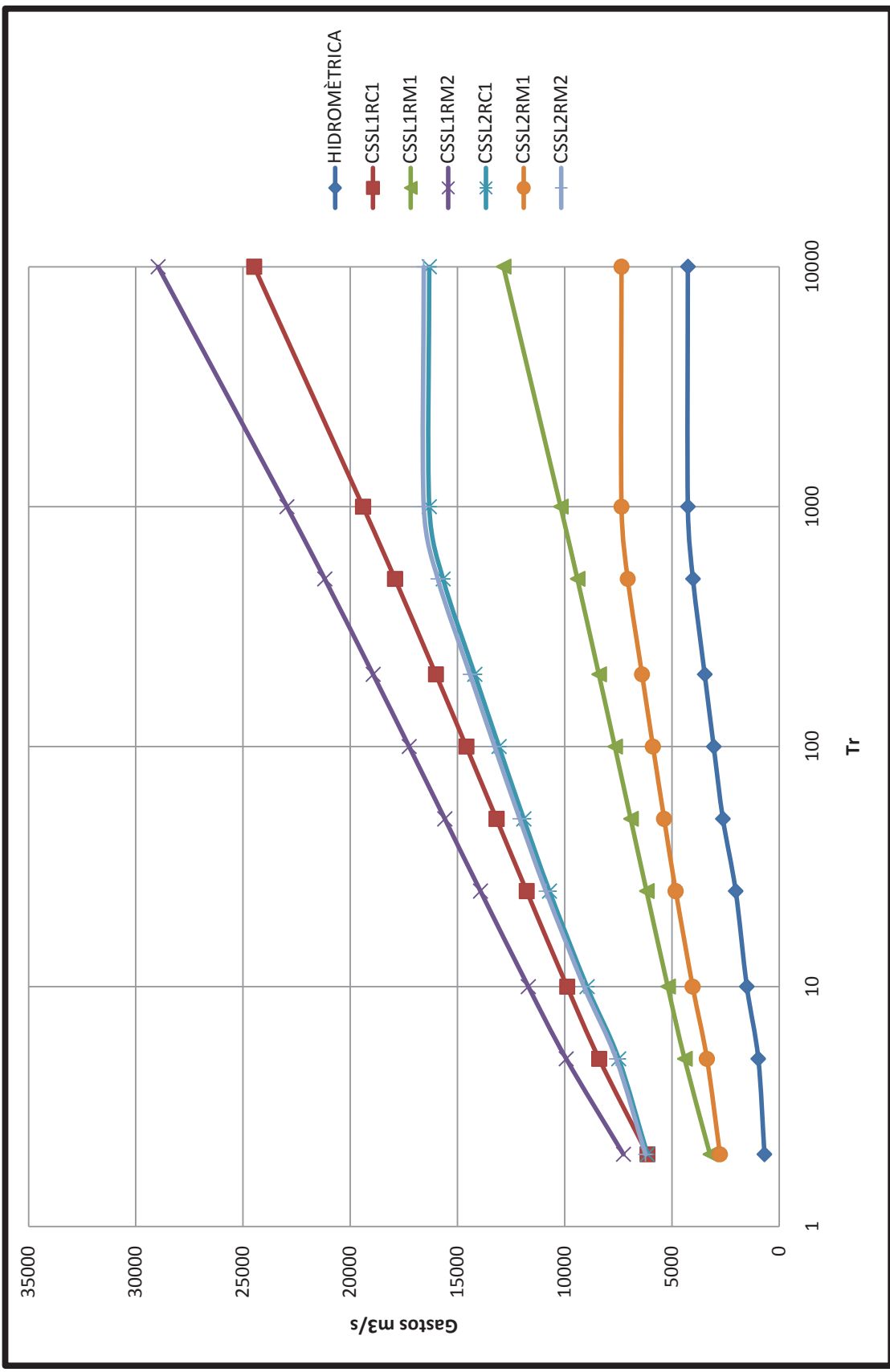
En el escenario CSSL2RM2, los gastos no son aceptables.



Gastos de la estación hidrométrica y el escenario 6

Los gastos son mucho menores que los obtenidos por la estación hidrométrica, debido a dos factores principales, el primero es el parámetro R calculado por medio de mapas y el segundo es por la aplicación del traslado de precipitación en el centro de gravedad, las cuales se redujeron como anteriormente se mencionó.

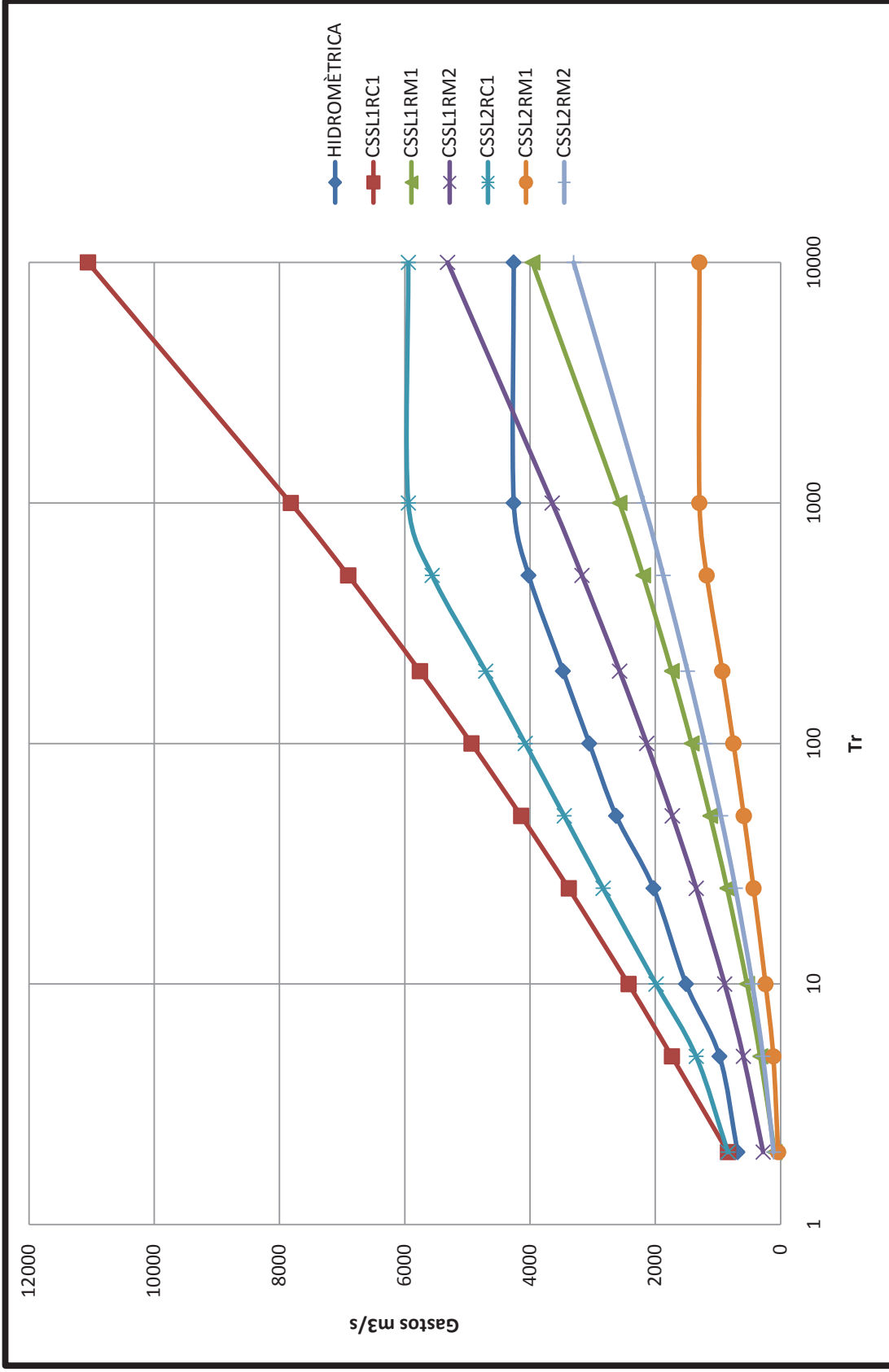
Los gastos por el método racional de los diferentes escenarios se muestran a continuación.



Gastos por el método racional para los diferentes escenarios y para los diversos periodos de retorno

El método racional es uno de los primeros métodos empleados en la determinación del gasto máximo, este método sólo es válido para cuencas pequeñas, el principal factor que afecta al incremento de gasto es el área, mientras una cuenca sea más grande el gasto es más grande.

Los gastos por el método de Chow, se muestran a continuación por medio de una gráfica, en la cual se observan los mejores resultados provenientes del escenario CSSL2RC1, en cuanto al escenario CSSL1RC1 los gastos siguen siendo sobrediseñados, el método es muy aplicable en cuencas medianas, pero de manera comparativa es efectivo en este caso.



Gastos por el método racional para los diferentes escenarios y para los diversos periodos de retorno

Resumen de los escenarios del segundo rubro.

Los escenarios CSSL2RM1 y CSSL2RM2 no son convenientes en la aplicación por el método del Hidrograma Unitario Triangular, los gastos reducen demasiado, por la acción del parámetro R determinado por mapas y el traslado de precipitaciones al centro de gravedad, lo cual nos indica que el método del Hidrograma Unitario Triangular no es conveniente generarlo por medio de estos procedimientos.

En cuanto al método de Chow ocurre algo muy similar al Hidrograma Unitario Triangular, lo cual nos sirve de comparativa en la determinación del gasto cuando no exista una estación hidrométrica.

El procedimiento más recomendable según los resultados es el escenario CSSL2RC1, para el método del Hidrograma Unitario Triangular, este procedimiento permite la determinación rápida de gastos, ya que sólo utiliza una estación ficticia y no requiere subdividir cuencas, los gastos son muy aceptables y cercanos a los obtenidos por la estación hidrométrica.

En cuanto al escenario CSSL1RC1, muestra cómo es que un gasto se puede sobrediseñar utilizando una estación base, un parámetro R calculado y la determinación de las IDTr de forma lineal, pero sin embargo, los gastos calculados para periodos cortos son muy buenos, el problema radica al momento de tener periodos de retorno grandes, esto incrementa el gasto sobrediseñándolo de forma muy elevada, tal caso es el Tr 10,000.

El escenario CSSL1RM1, muestra la reducción de gastos a partir de una estación hidrométrica, aplicando un parámetro R determinado por mapas, para cuencas pequeñas el parámetro R calculado por medio de este parámetro y el determinado a partir de una estación base se aproximan, por lo cual este método es muy efectivo para cuencas en las cuales la estación base se encuentren retiradas.

En cuanto al escenario CSSL1RM2, demuestra cómo es que el método de CHEN tiene buenos resultados en los periodos $5 \geq Tr \leq 100$, utilizando una estación base y un parámetro R de mapas.

7.11.3. Cuenca Pastoría con subcuencas

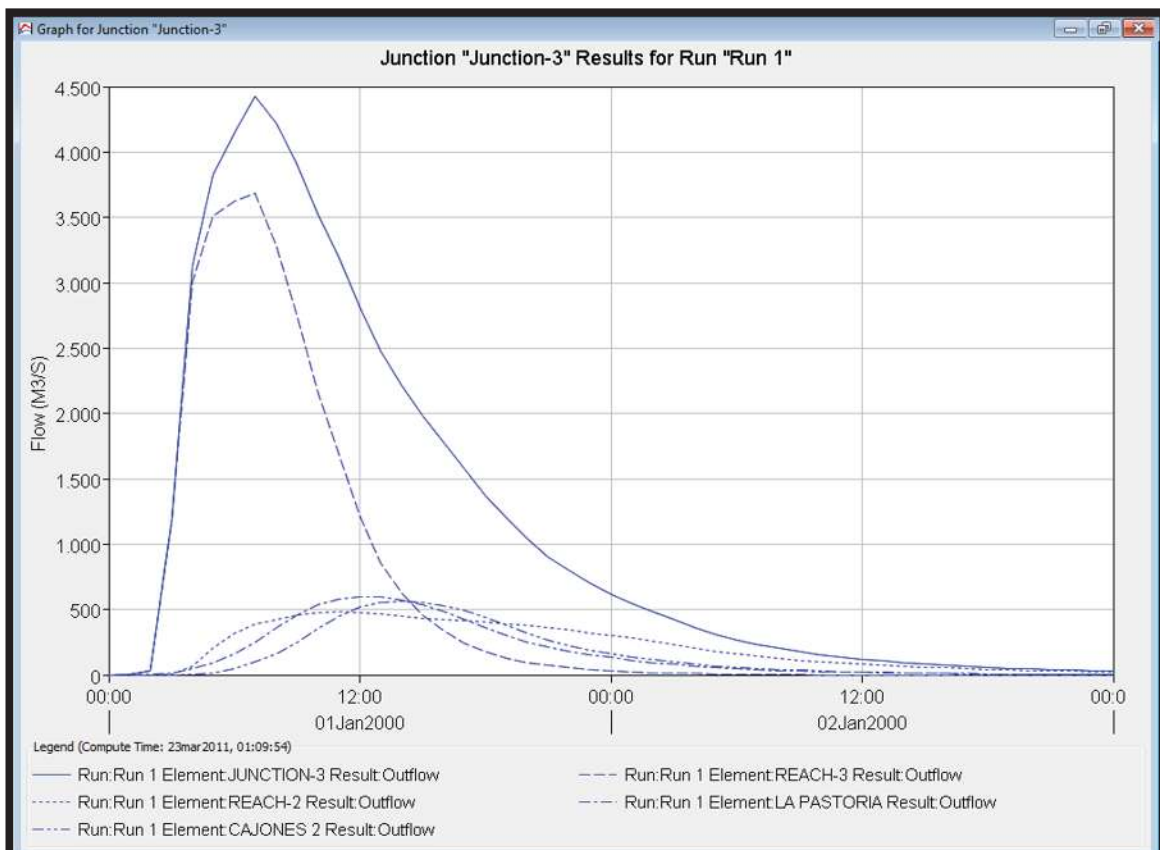
Escenario CCSRML11

El estudio de la cuenca general se realiza por separado, es decir se generaron subcuencas, considerando las corrientes más principales de toda la cuenca, lo cual genera una consideración de parámetros más específicos correspondientes a cada una de las partes en las que se divide la cuenca general.

Para cada cuenca se seleccionó una estación base, la condición de esta selección es basada a la cercanía con el centro de gravedad de cada cuenca, este procedimiento toma en consideración diversos factores, toma en consideración la estación más cercana al centro de gravedad de cada subcuenca.

Tr	Q
2	1292.7
5	1958.2
10	2176.8
25	2455
50	2656
100	2856
200	3126.5
500	3508.8
1000	3742.6
10000	4422.8

Gastos del escenario CCSRML11 por el método del HUT



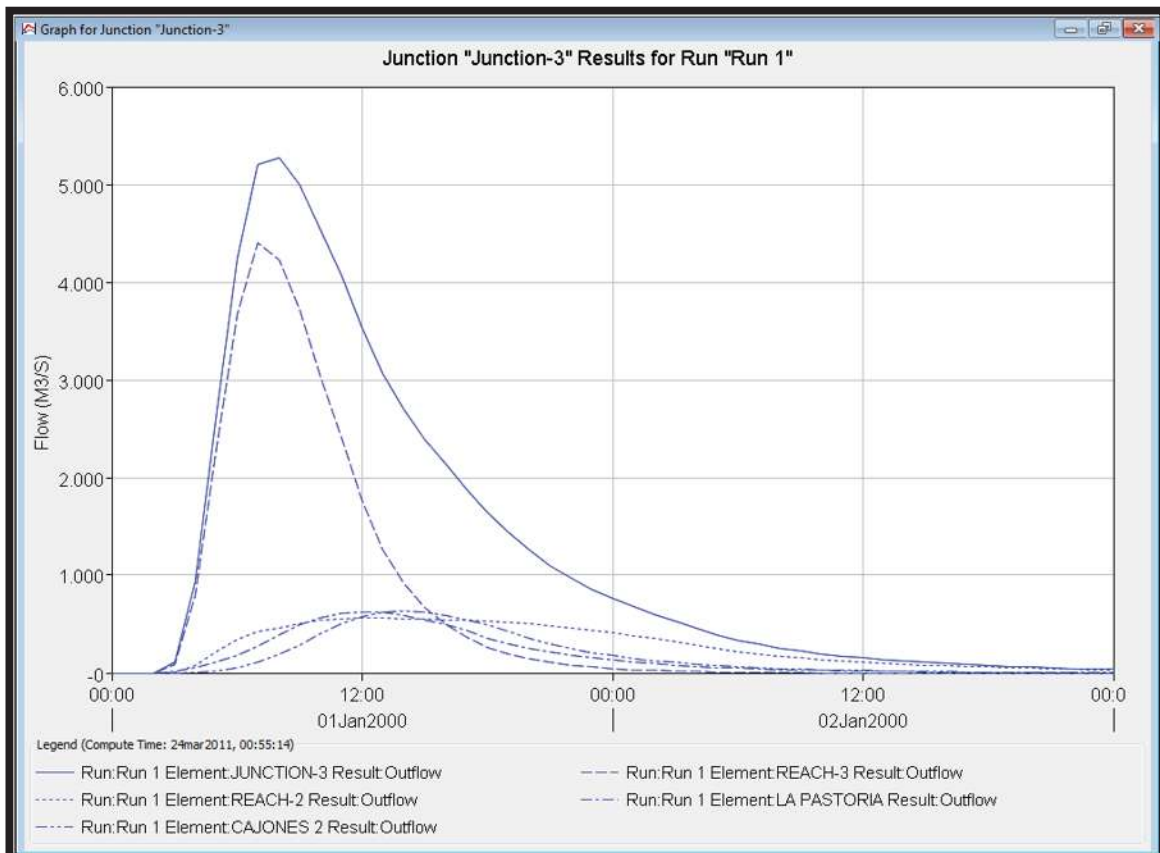
Gasto del escenario CCSRML11 Tr10,000

Escenario CCSRML12

La forma de llenado es la misma que en el escenario anterior, la diferencia principal consiste en la aplicación del método de CHEN para cada subcuenca, en la determinación de las IDTr.

Tr	Q
2	920.4
5	1725.1
10	2146
25	2618.2
50	2963
100	3305.2
200	3647.5
500	4103.9
1000	4401.9
10000	5272.3

Gastos del escenario CCSRML12 por el método del HUT



Gasto del escenario CCSRML12 Tr10,000

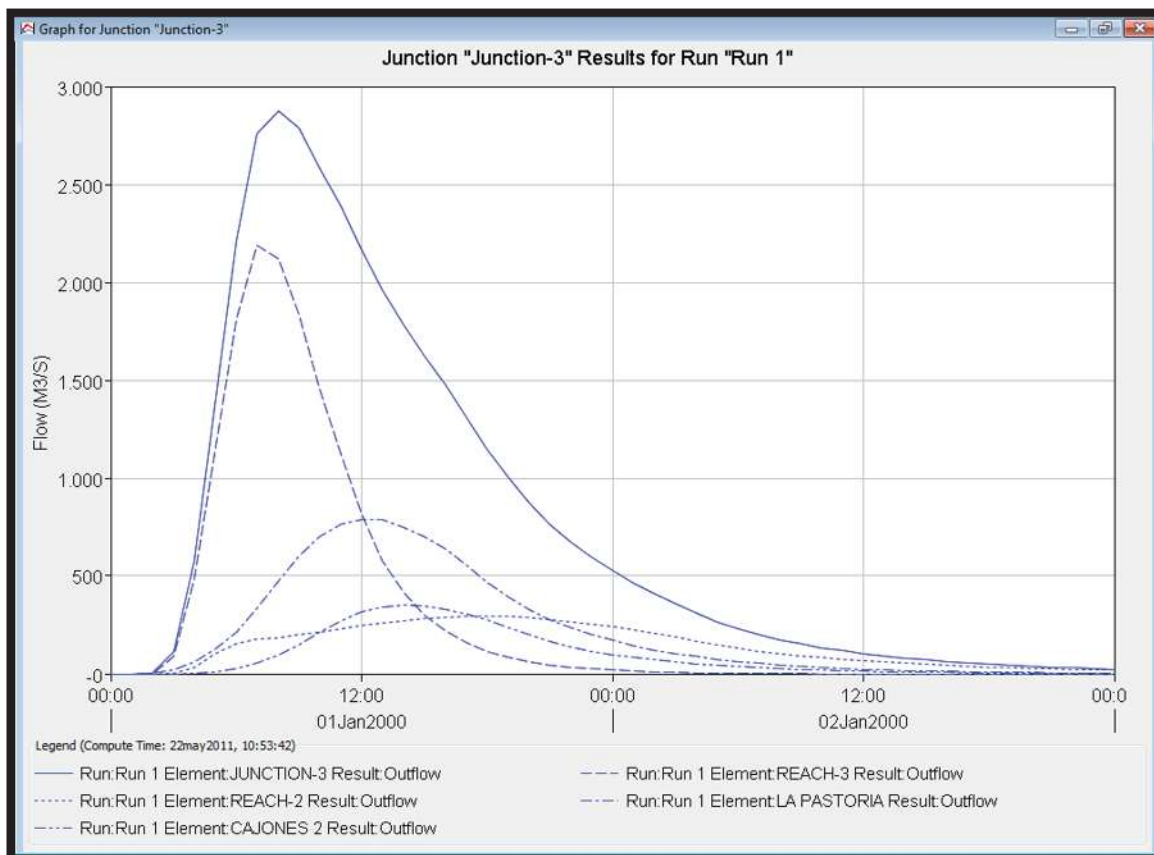
Escenario CCSRML21

Al desfragmentar la cuenca en subcuencas, se permite tener mayor precisión con respecto a los diversos parámetros de análisis de una cuenca, uno de estos parámetros es la precipitación, la cual como bien se sabe es muy diferente en cada lugar de la cuenca, en este escenario se traslada la precipitación al centro de gravedad de cada una de las subcuencas, lo cual nos permite tener una mejor distribución de precipitaciones en toda la cuenca.

El método para la determinación de las IDTr fue por medio de una regresión lineal.

Tr	Q
2	310.5
5	654.4
10	1020
25	1394.6
50	1682.1
100	1975.6
200	2277.4
500	2690
1000	2874.6
10000	2874.6

Gastos del escenario CCSRML21 por el método del HUT



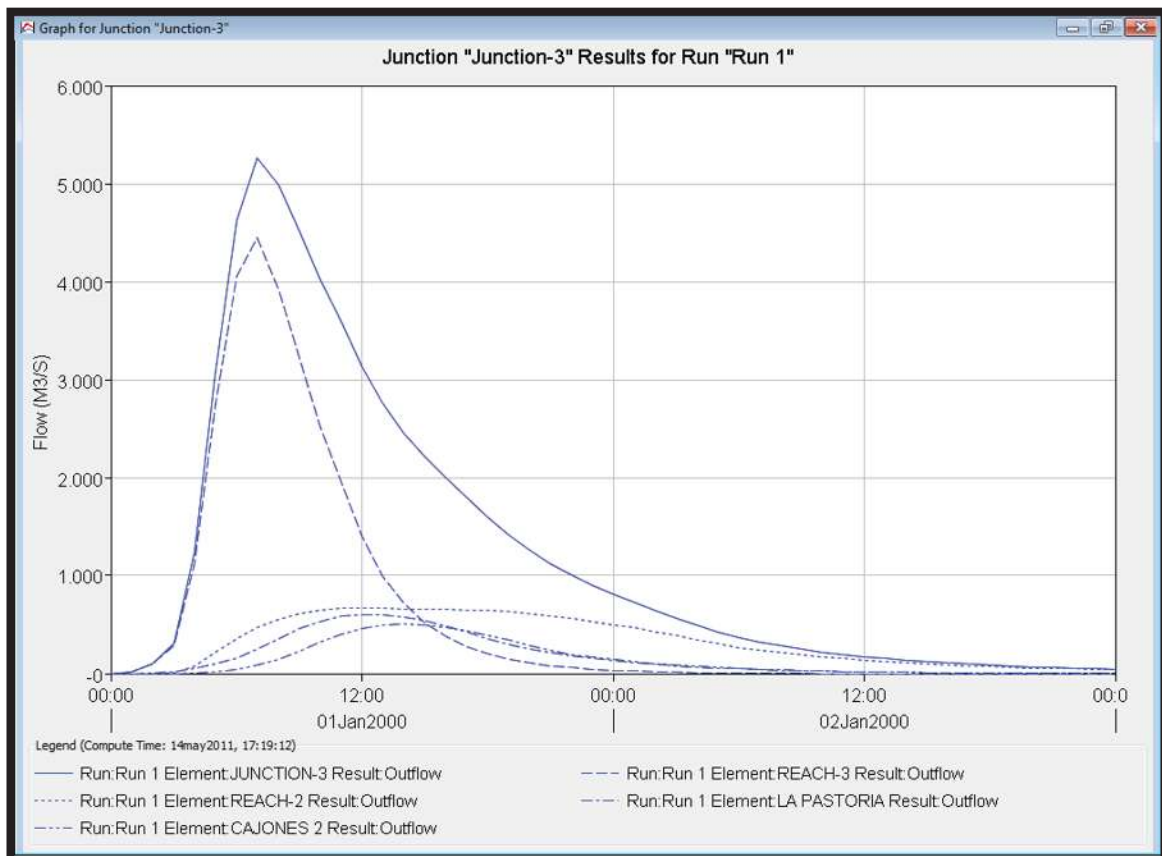
Gasto del escenario CSSRML21 Tr10,000

Escenario CSSRCL11

Se toma en consideración las estaciones cercanas a los centros de gravedad, el parámetro R es calculado en base a dichas estaciones, la determinación de las IDTr es por medio de una regresión lineal.

Tr	Q
2	973,8
5	1856,4
10	2278,4
25	2737,2
50	3072,4
100	3406,2
200	3741,5
500	4190,7
1000	4468,8
10000	5265,6

Gastos del escenario CSSRCL11 por el método del HUT



Gasto del escenario CSSRCL11 Tr10,000

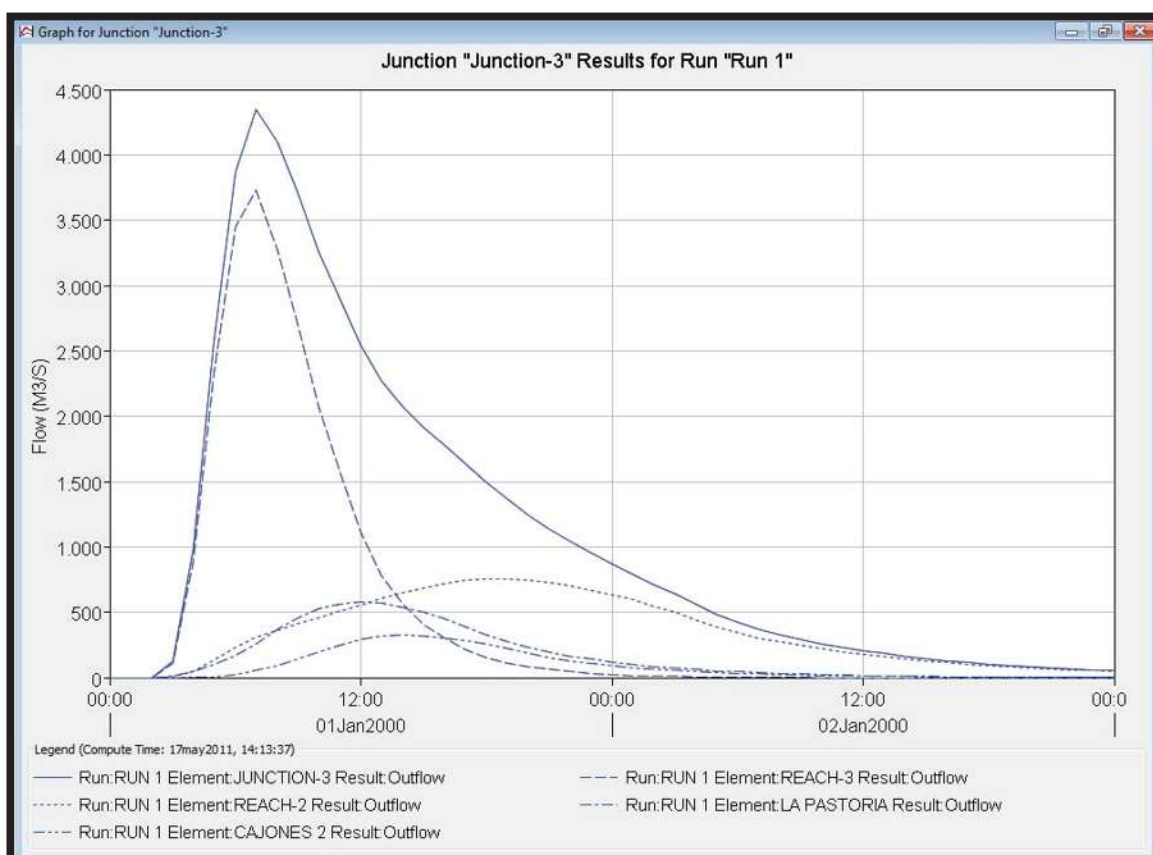
Escenario CSSRCL21

De acuerdo al escenario CSSL2RC1 del primer rubro, el escenario más favorable en la utilización de subcuencas debe ser éste, se toma en consideración todas las estaciones circundantes de las subcuencas generando una estación ficticia en el centro de gravedad de cada una de las subcuencas, en base a esta estación se generan los parámetros R, se utiliza una regresión lineal para la determinación de las IDTr.

Tr	Q
2	521
5	990
10	1,509
25	2,109
50	2,551
100	2,998
200	3,454

Tr	Q
500	4,073
1000	4,348
10000	4,348

Gastos del escenario CCSRCL21 por el método del HUT

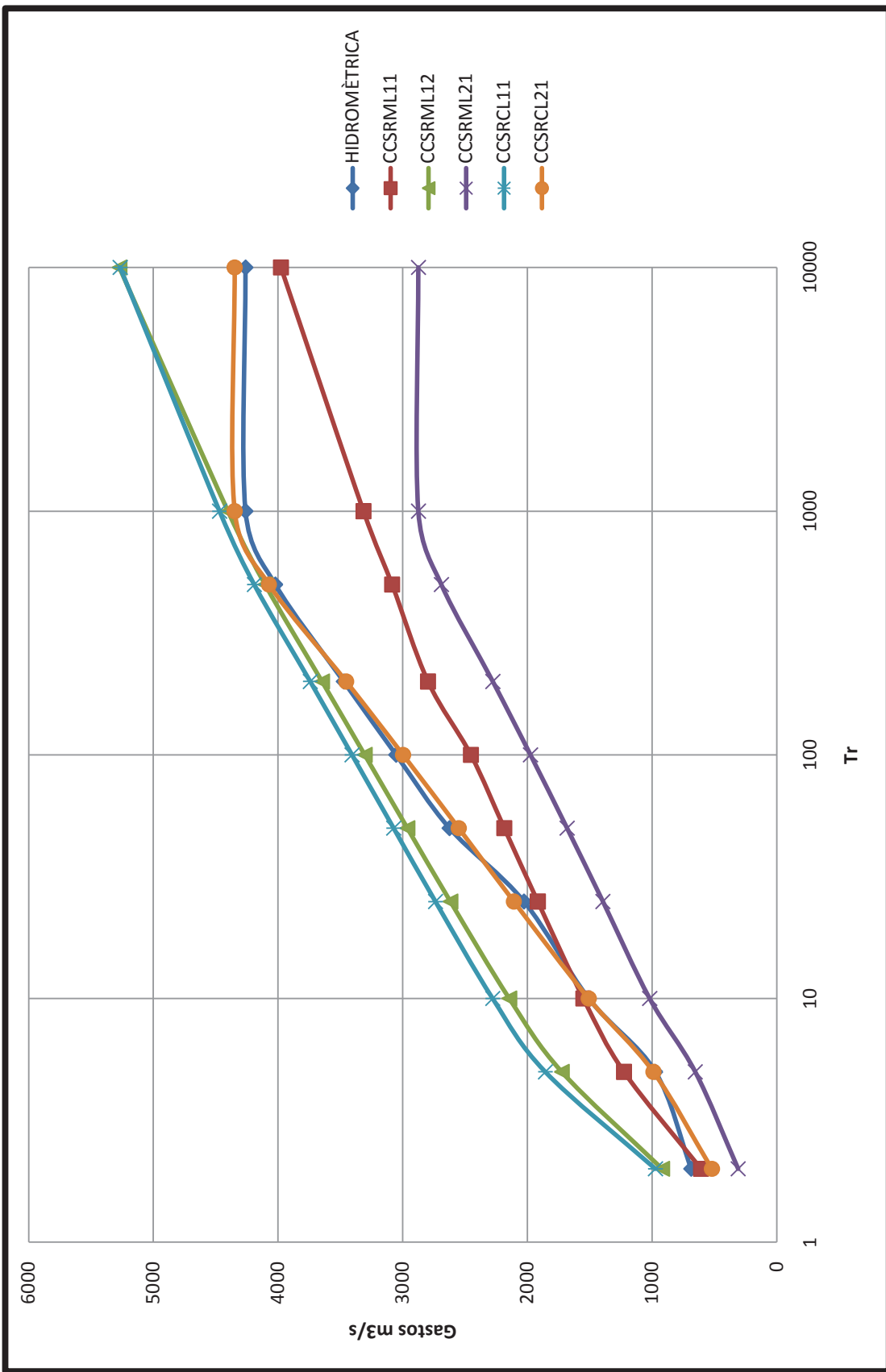


Gasto del escenario CCSRCL21 Tr10,000

7.11.4. Análisis de la cuenca Pastoría con subcuencas.

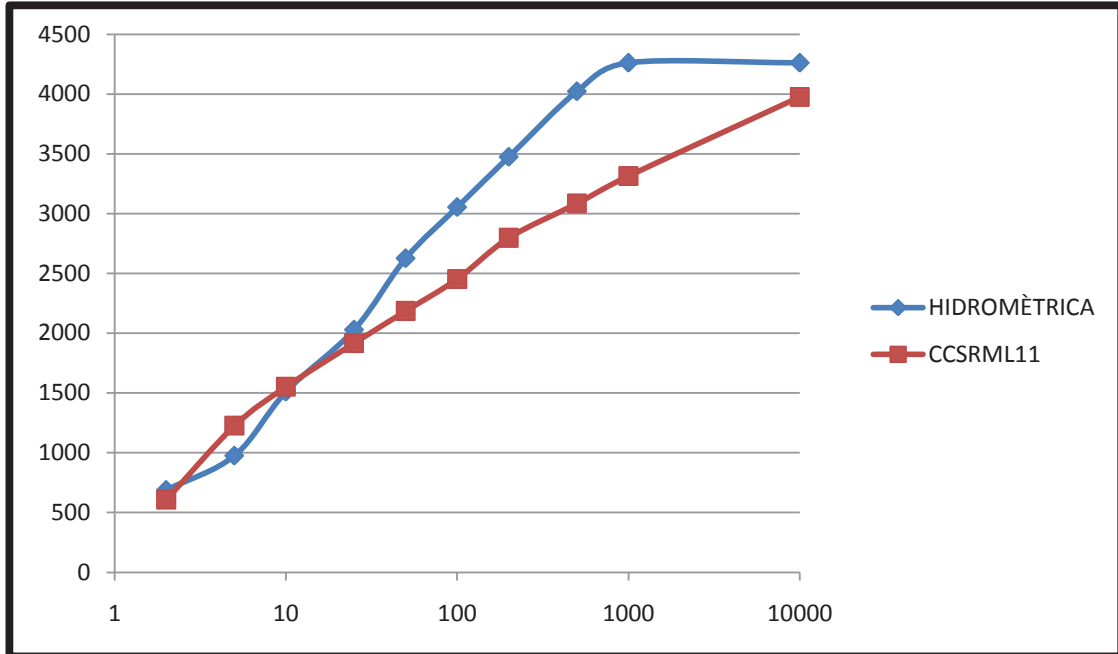
Al subdividir una cuenca, se toman en consideración más parámetros como son el número de escurrimiento, las diferentes pendientes de los cauces, las diversas precipitaciones que existen en toda la cuenca completa, entre otros aspectos.

Los diversos gastos obtenidos por los escenarios anteriormente expuestos se muestran en la gráfica siguiente.



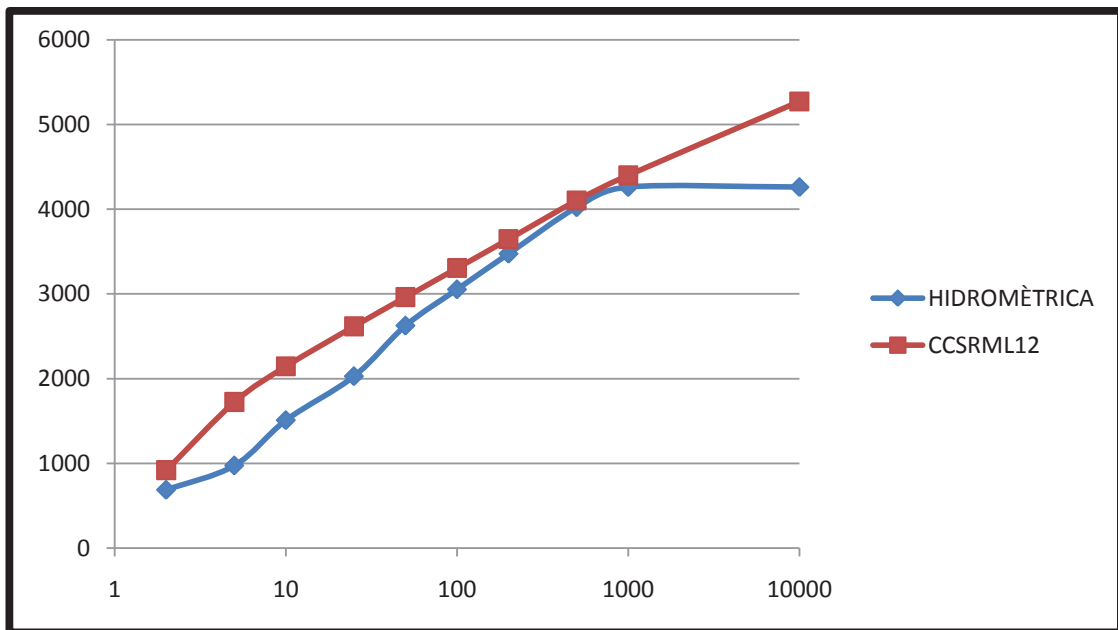
Gastos por el método del HUT para los diferentes escenarios y para los diversos periodos de retorno

En el escenario CCSRML11, como el parámetro R baja los valores de los gastos disminuyen, como se observa el gasto disminuye considerablemente.



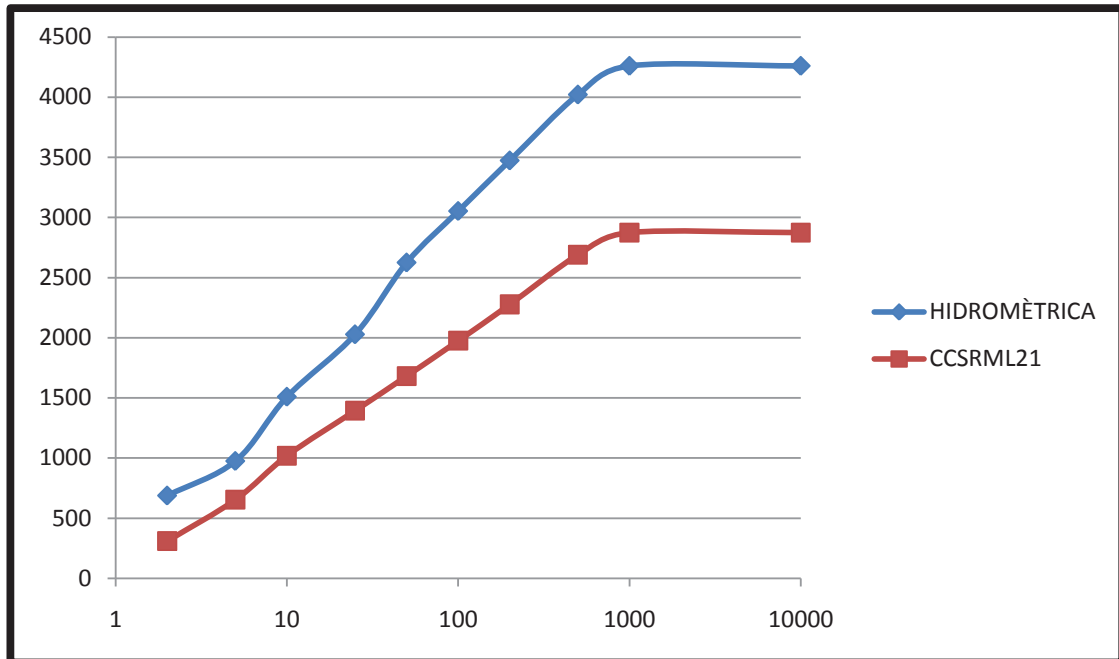
Gastos de la estación hidrométrica y el escenario CCSRML11

En el escenario CCSRML12 los gastos ajustan mejor, debido a que se debe de tener en consideración que no se ha realizado el tránsito de la avenida, esto implica la reducción del gasto, como se puede observar estos gastos ajustarían del Tr 5 al Tr 100.



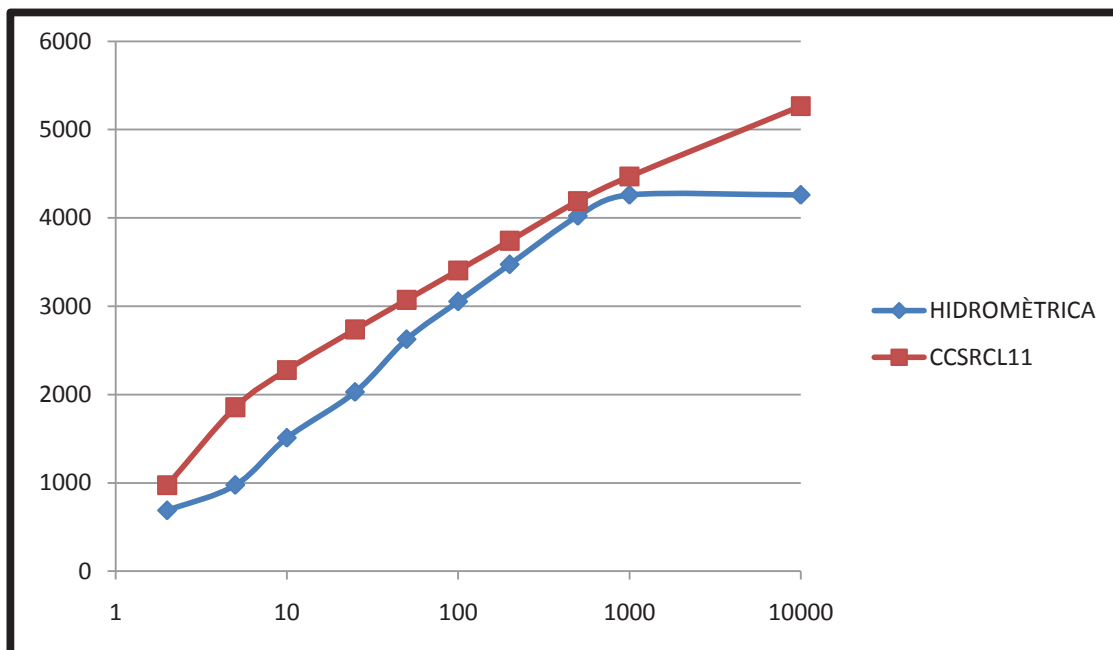
Gastos de la estación hidrométrica y el escenario CCSRML12

En el escenario CCSRML21 al aplicar un parámetro R calculado por mapas, se reduce considerablemente el gasto, lo cual nos indica que el procedimiento no es el adecuado para la determinación de gastos.



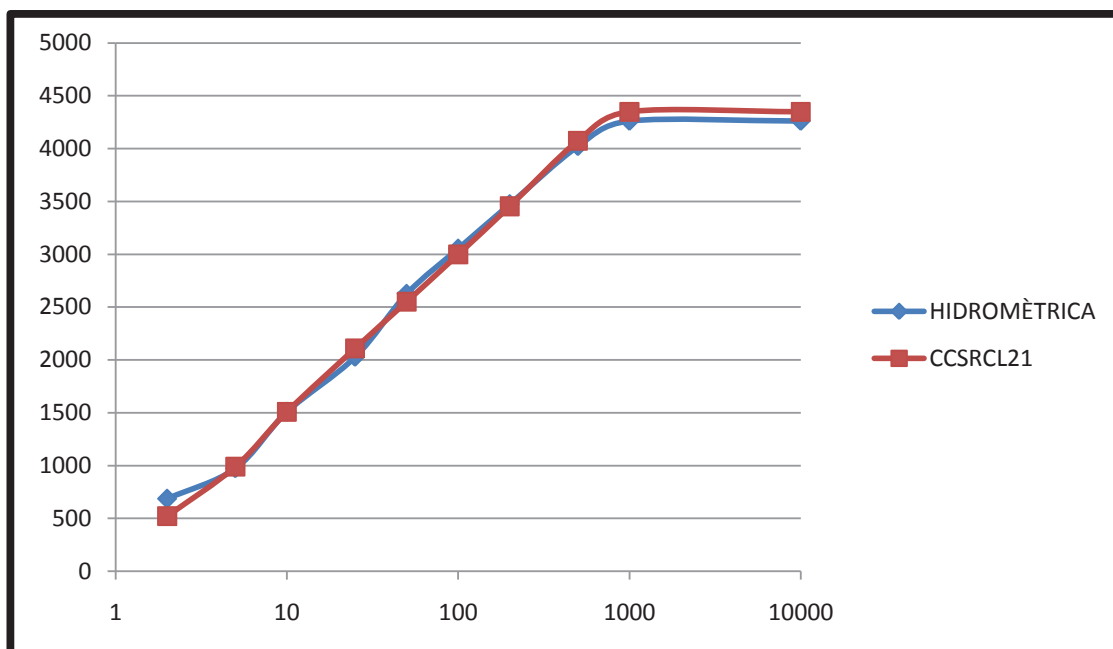
Gastos de la estación hidrométrica y el escenario CCSRML21

El escenario CCSRCL11 muestra los gastos mucho más grandes que los calculados por la estación hidrométrica, pero a comparación del escenario CSSL1RC1, los gastos disminuyen acercándose a los gastos calculados por la estación hidrométrica, demostrando de esta manera que los gastos calculados por medio de subcuencas son mejores.



Gastos de la estación hidrométrica y el escenario CCSRCL11

Para el escenario CCSRCL21 los gastos son muy idénticos a los obtenidos por la estación hidrométrica, este procedimiento demuestra ser el más eficaz para la generación de gastos máximos, prácticamente en todos los periodos de retorno el gasto ajusta muy bien.



Gastos de la estación hidrométrica y el escenario CCSRCL21

Resumen de los escenarios del tercer rubro.

Los gastos mejoran considerablemente al tener en consideración las diversas corrientes que conforman a la cuenca general, así como los diversos parámetros que la constituyen.

El utilizar un parámetro R calculado en base a la estación ficticia generada en el centro de las subcuenca, mejora considerablemente los gastos, esto se demuestra en el escenario CCSRCL21.

En concreto el mejor procedimiento para la determinación de gastos máximos por el método del Hidrograma Unitario Triangular es el escenario CCSRCL2.

7.11.5. Volumen de escurrimiento

Escenario Ve1

Si se considera la serie de precipitación total y la serie de Ce anuales correspondientes y área de la cuenca de 2,739.19 km², el volumen de escurrimiento directo medio anual se lista en la tabla siguiente:

Año	Precipitación (mm)	C.e	Ve(Mm3/anual)
1961	1135	0.172	533.53
1962	1092	0.166	497.56
1963	929	0.146	372.47
1964	1043	0.160	458.16
1965	895	0.142	349.04
1966	1269	0.188	654.15
1967	1711	0.242	1135.63
1968	1148	0.173	545.25
1969	1215	0.182	603.93
1970	1037	0.160	453.44
1971	951	0.149	388.68
1972	966	0.151	399.37
1973	1560	0.224	956.36
1974	1117	0.170	518.32
1975	1060	0.163	471.59
1976	1294	0.191	677.51
1977	1033	0.159	450.25
1978	1246	0.185	632.77
1979	822	0.133	300.24
1980	1186	0.178	577.80
1981	1341	0.197	723.26

Año	Precipitación (mm)	C.e	Ve(Mm3/anual)
1982	967	0.151	400.19
1983	1351	0.198	732.99
1984	1253	0.186	639.36
1985	1483	0.214	870.52
1986	1175	0.177	568.81
1987	1101	0.168	505.23
1988	1384	0.202	766.63
1989	1163	0.175	557.71
1990	1055	0.162	468.32
1991	836	0.135	309.29
1992	1568	0.225	965.13
1993	1177	0.177	570.39
1994	948	0.149	386.13
1995	1192	0.179	583.57
1996	1083	0.165	490.92
1997	909	0.144	358.89
Volumen de escurrimiento (Mm3/anual)			564.15

Volumen de escurrimiento por medio de una estación base "Taretan, Taretan"

Se seleccionó la estación Taretan por ser la estación más cercana al centro de gravedad y por tener la precipitación más cercana a la obtenida por el método de las isoyetas, pero a la vez superando esta precipitación, lo cual nos indica que el volumen que se obtendrá es mayor que calculándolo con todas las estaciones, tomando las áreas de influencia de cada estación a partir de los polígonos de Thiessen.

El criterio anterior se tomo en base a la facilidad de realizar el cálculo y de mejorar el resultado del método.

Ahora bien, el método toma en consideración todos los años de información de la estación seleccionada, lo cual mejora el cálculo a comparación del escenario B, el cual utiliza únicamente la precipitación media de la cuenca. El cálculo realizado toma en consideración los diferentes volúmenes de escurrimiento de año a año, pero no toma en consideración la distribución de las precipitaciones para la determinación de este volumen, es decir, se considera que en toda la cuenca la precipitación no cambia y se toma un parámetro k general de toda la cuenca.

Escenario Ve2

Para la precipitación media anual considerada, (método de las Isoyetas) con un valor de 1099.85 mm, y el coeficiente K general de toda la cuenca obtenido es de 0.2450, resulta un coeficiente de escurrimiento para la cuenca de 0.1592.

K	P (mm)	Ce
0.2450	1,099.85	0.1592

Coeficiente de escurrimiento de la cuenca

El volumen de escurrimiento directo medio anual es de 479.565 Mm³, considerando solo la precipitación media anual de la cuenca.

A (Km²)	Ce	Ve (Mm³)
2,739.19	0.1592	479.565

Volumen de escurrimiento de la cuenca

Este método permite la determinación rápida del volumen de escurrimiento, debido a la utilización únicamente de una precipitación y por tanto un único Ce. Los resultados son volúmenes bajos, esto es más notorio cuando se trabajan cuencas grandes, ya que no toma en consideración los cambios de precipitación año a año, ni los cambios de volúmenes año a año, puede ser utilizado para dar una idea rápida de los volúmenes de escurrimiento y es más preciso en cuencas pequeñas, este método si utiliza la precipitación distribuida en toda la cuenca, pero este valor es ponderado.

Escenario Ve3

Para cada pixel de la cuenca se calculo su volumen, es total se trabaja con 269957 pixeles, la suma de estos volúmenes se muestran en la tabla siguiente para cada año.

Año	Volumen (m3/Anual)
1963	670,354,013.30
1964	586,815,658.50
1965	513,105,444.10
1966	759,653,527.00
1967	1,031,009,231.00
1968	753,844,369.00
1969	546,362,813.60
1970	664,632,059.90
1971	519,560,285.90
1972	642,411,855.70
1973	930,241,306.70

Año	Volumen (m3/Anual)
1974	692,927,499.70
1975	640,348,317.10
1976	830,553,364.50
1977	604,388,642.50
1978	821,271,535.00
1979	440,672,050.10
1980	688,012,668.20
1981	826,308,862.50
1982	503,818,296.30
1983	798,078,595.50
1984	717,079,424.40
1985	686,829,133.10
1986	610,844,575.50
1987	544,535,907.40
1988	700,098,334.80
1989	550,406,737.20
1990	759,521,681.10
1991	668,197,511.50
1992	1,030,471,970.00
1993	734,164,454.40
1994	622,582,842.00
1995	798,257,723.80
1996	652,418,732.60
1997	449,716,047.20
1998	595,249,824.70
1999	542,770,102.60
2000	472,635,937.80
_2001	582,435,808.90
2002	686,489,084.80
Promedio (m3/Año)	671,726,905.70
Volumen (Mm3/Año)	671.73

Volumen de escurrimiento calculado por medio de pixeles.

Este método toma en consideración las distribuciones de precipitaciones en toda la cuenca, esto lo realiza a nivel pixelaje, cuando son cuencas muy grandes es conveniente utilizar pixeles del tamaño de una hectárea es decir de 100 por 100 metros, se traslada a cada pixel la precipitación en base a las estaciones

Página 135 de 165

circundantes, así como cada pixel cuenta con su propio parámetro K, se le determina un C_e a cada pixel, como cada pixel tiene su área, se puede determinar el volumen de cada pixel para cada año, de la serie de años que se trabajen.

El método en resumen toma en consideración la distribución de precipitaciones en toda la cuenca, considera el historial de años de las estaciones y calcula el volumen por separado al nivel pixelaje al que se quiera llegar.

EL inconveniente del método es la capacidad en equipos de cómputo, mientras más detallado es el estudio los procesos son más pesados y se requiere de mejores sistemas, así como el tiempo de cálculo es mayor que los escenarios A y B.

Escenario Ve4

El volumen calculado por medio de la estación hidrométrica La Pastoría se muestra en la siguiente tabla.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1965	30434.00	33082.00	30628.00	26836.00	32076.00	40921.00	61488.00	144773.00	113590.00	99785.00	37979.00	35442.00
1966	30236.00	27996.00	24731.00	22882.00	26895.00	80916.00	101844.00	135659.00	105780.00	83717.00	41882.00	42781.00
1967	135832.00	34132.00	28879.00	25704.00	29130.00	83894.00	83778.00	125284.00	353171.00	204132.00	69211.00	50237.00
1968	41213.00	36225.00	38432.00	24346.00	30053.00	65204.00	117133.00	108918.00	154942.00	79313.00	39718.00	43220.00
1969	33107.00	26850.00	26095.00	23303.00	25999.00	38403.00	89103.00	179250.00	192223.00	95610.00	34698.00	32346.00
1970	32204.00	27148.00	28984.00	20799.00	23988.00	74826.00	182030.00	224614.00	176912.00	85655.00	48610.00	40281.00
1971	32813.00	32190.00	31595.00	25839.00	28344.00	51810.00	87959.00	123363.00	197037.00	139321.00	42995.00	37184.00
1972	34682.00	28906.00	26826.00	23575.00	27292.00	70519.00	127905.00	111917.00	101426.00	49650.00	52147.00	33426.00
1973	31302.00	27475.00	27608.00	40616.00	38809.00	53641.00	163631.00	172203.00	281965.00	166337.00	68772.00	48491.00
1974	40094.00	32205.00	29771.00	26925.00	31704.00	84945.00	164779.00	114547.00	127608.00	69832.00	56908.00	41477.00
1975	39330.00	27624.00	26934.00	25007.00	29608.00	55815.00	126683.00	136275.00	228906.00	64140.00	44002.00	35558.00
1976	33174.00	28953.00	27660.00	26166.00	29062.00	40299.00	126425.00	93684.00	102453.00	170242.00	95434.00	53615.00
1977	37755.00	28578.00	25670.00	24970.00	27822.00	86062.00	102582.00	80984.00	169879.00	71173.00	51062.00	37871.00
1978	32469.00	24555.00	25026.00	23598.00	25100.00	60950.00	127743.00	93598.00	169492.00	120082.00	56308.00	36753.00
1979	31952.00	25331.00	24195.00	24458.00	25977.00	34951.00	64799.00	101031.00	143977.00	36530.00	32306.00	30798.00
1980	49452.00	29447.00	24447.00	23711.00	25302.00	39238.00	49604.00	98296.00	113054.00	59254.00	43385.00	27700.00
1989	27482.00	23011.00	23986.00	22007.00	21626.00	32694.00	56526.00	124470.00	161687.00	63810.00	38250.00	40444.00
1995	29683.60	23962.53	22759.68	21535.70	25419.42	69868.87	165298.03	330094.24	198571.76	61431.28	44748.91	38307.68
1996	37005.74	26708.68	24632.10	22771.87	25815.29	57473.79	120280.45	186440.51	128856.59	219071.54	43834.34	49994.43
1997	31933.73	24269.61	25854.24	25127.46	28341.72	45245.35	89545.12	87501.44	106507.58	165367.46	48781.90	30084.69
1998	26913.54	22671.42	22684.80	20932.62	22095.72	39652.66	80994.79	132715.57	330926.75	257735.66	57735.64	43109.64
1999	31165.97	24349.27	25035.65	22729.92	22233.09	87849.30	122782.58	118608.20	226876.62	111819.68	38449.73	31500.79
PROMEDIO	36968.44	26769.25	25758.87	23646.04	26204.91	56314.15	104914.14	131493.26	168956.90	107569.98	47272.54	37419.61
Volumen (Mm3)	36.97	26.77	25.76	23.65	26.20	56.31	104.91	131.49	168.96	107.57	47.27	37.42
SUMA (Mm3)	829.31											

Volumen determinado por medio de la estación hidrométrica

El volumen medido más bajo de los años secos es el obtenido en el año 1979, con un volumen de 576.305 Mm3.

En la siguiente tabla se muestra el promedio de los años secos.

Año	Volumen anual (Mm3)
1965	687.034
1966	725.319
1968	778.717
1969	796.987
1972	688.271
1974	820.795
1976	827.167
1977	744.408
1978	795.674
1979	576.305
1980	582.89
1989	635.993
1997	708.5603
PROMEDIO	720.624638

Volumen de escurrimiento de la estación La Pastoría

La determinación de los volúmenes de escurrimiento por medio de una estación hidrométrica se considera como el volumen de escurrimiento verdadero, debido a que son volúmenes medidos directamente de la corriente.

Análisis del resultado del volumen.

Comparando el volumen de escurrimiento obtenido de la estación Hidrométrica La Pastoría, con respecto a los otros escenarios en porcentaje numérico, para el primer caso se muestra la tabla siguiente.

ESCENARIO	%
Ve1	97.89
Ve2	83.21
Ve3	83.46

Semejanza en porcentaje con el volumen de escurrimiento obtenido con el primer método

La comparación numérica del segundo método se muestra a continuación.

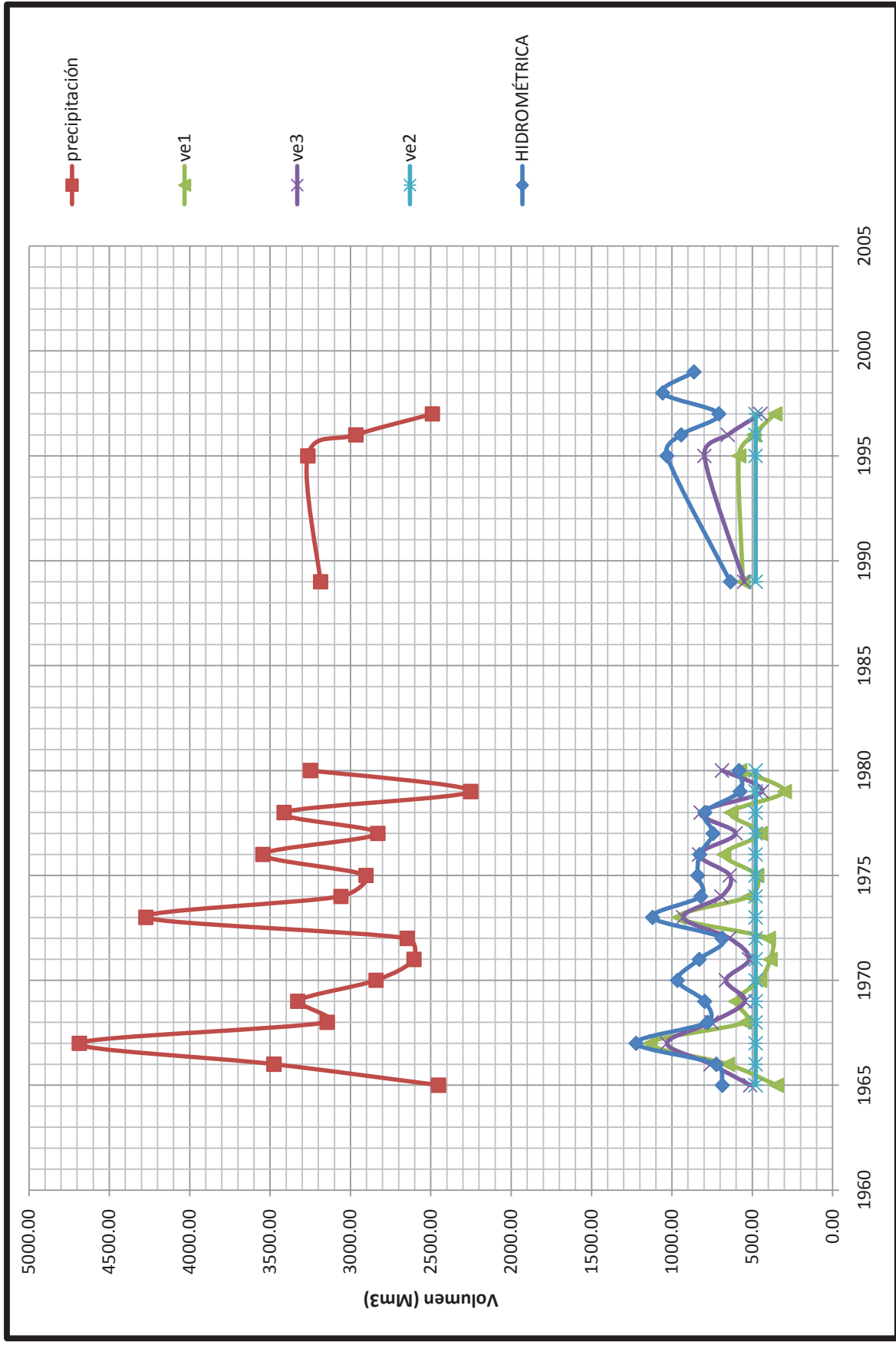
ESCENARIO	%
A	78.2862492

ESCENARIO	%
B	66.5485156
C	93.2010875

Semejanza en porcentaje con el volumen de escurrimiento obtenido con el segundo método

Otro factor que se debe de tomar en consideración es la posición de la estación hidrométrica encontrada un poco debajo de la salida de la cuenca, lo cual implica el incremento de la cuenca en tamaño, aunque el incremento del tamaño de la cuenca no es mucho, pero sin embargo puede repercutir un poco en los cálculos indirectos aumentando su volumen, los cálculos indirectos son los escenarios A, B y C.

Tomando en consideración los volúmenes de escurrimiento calculados, el volumen medido por la estación hidrométrica y la precipitación multiplicada por el área de la cuenca se pueden observar las varianzas existentes en la siguiente gráfica.



Diversos volúmenes de escurrimiento

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1. CONCLUSIONES

- Los tiempos en la determinación de los parámetros requeridos para el cálculo de gastos, continua siendo un problema por el tiempo en que se tarda la obtención de los mismos y más aún cuando se deben determinar tales parámetros para diversas cuencas, el procedimiento mostrado en esta tesis permite ahorrar tiempo en el cálculo de parámetros que se obtienen de forma repetitiva, tales como son: El parámetro K, el número de escurrimiento, la precipitación media por medio de los polígonos de Thiessen, la precipitación media por meto de las isoyetas, así como otros parámetros en los que su procedimiento sea repetitivo, el método permite la determinación de forma masiva.
- En la determinación de la precipitación de una hora y un periodo de retorno de 2 años resulta de mucha utilidad la aplicación de las fórmulas y no la utilización de la gráfica, esto se hace más evidente cuando existe la necesidad de calcular varias cuencas.
- Para la determinación del gasto con la utilización de una estación base los resultados incrementan de manera significativa, este procedimiento puede ser utilizado para cuencas pequeñas o cuencas en las cuales se tenga la estación meteorológica dentro de la misma, se debe de tener en consideración la revisión de los datos, debido a la falta de confiabilidad existente con respecto a la toma de datos, esto lo debemos de verificar con la consistencia de datos, la cual se genera con la ayuda de las estaciones circundantes.
- La utilización del parámetro R determinado por mapas decrementa los gastos, lo cual si no se tiene un especifico cuida con su utilización puede afectar en los resultados, causando graves problemas a las construcciones en una avenida no contemplada o afectada por la reducción anteriormente comentada, sin embargo cuando la estación meteorológica tomada como base se encuentra retirada es conveniente la utilizar el parámetro R determinado por mapas, debido a la forma de cómo se obtienen las intensidades.
- El meto de CHEN permite la determinación de las intensidades de forma directa, sin la necesidad de acudir gráficas o ecuaciones que provienen de las mismas gráficas, los gastos con este método incrementan a partir del Tr_{100} años, ajustándose mejor en los anteriores periodos, es decir para $5 \geq Tr \leq 100$, la aplicación del método de CHEN debe de ser conjugado con la determinación del parámetro R por medio de mapas.
- Al utilizar una cuenca con demasiada área como es este caso, no se está tomando en consideración las diversas pendientes que existen en las corrientes de dichas cuencas, para la obtención del gasto, sin embargo el método del hidrograma unitario triangular, utilizando la cuenca como general y aplicando una estación base da resultados favorables para los primeros periodos de retorno, aproximadamente hasta el periodo de retorno de 50 años, a partir de este periodo los gastos comienzan a elevarse, lo cual no es conveniente desde el punto de vista económico.

- El procedimiento de la generación de una estación ficticia al centro de gravedad de la cuenca, es sencillo con el apoyo de herramientas computacionales, además de tomar en consideración todas las estaciones con buena correlación entre sí, para realizar el traslado correspondiente.
- El procedimiento para la generación de una estación ficticia al centro de gravedad de la cuenca, resulta de mucho apoyo para la aplicación de diversos métodos de cálculo de gastos, los resultados son muy satisfactorios en cuanto a la determinación de gastos, ya sea que las estaciones estén cercanas o lejanas a la cuenca en estudio.
- La determinación de IDTr gráfica, permite a través de una regresión lineal la determinación de las precipitaciones e intensidades al momento de tener por conocido el periodo de retorno a 2 años a 1 hora y a 24 horas, facilitando el cálculo y permitiendo la obtención de resultados favorables.
- Los gastos más favorables obtenidos a partir de la cuenca general sin realizar subdivisiones, es con la generación de una estación ficticia al centro de gravedad y la utilización del parámetro R calculado, así como la utilización de las IDTr calculadas por medio de una regresión lineal, los valores son muy próximos a los calculados por medio de la estación hidrométrica, siendo el escenario CSSL2RC1, dicho procedimiento permite una determinación de gastos máximos rápidos y muy próximos a la realidad.
- Al tomar en consideración la subdivisión de la cuenca Pastoría, se toma en consideración las diversas pendientes de las corrientes, al estar realizando esta subdivisión o generación de subcuencas, se genera una hidrología más escrutinada, ya que se están utilizando diferentes parámetros de análisis, así como diferentes precipitaciones, el inconveniente consiste al momento de realizar las corridas, debido a que todo es de manera simultánea y por lo general los gastos aumentan.
- Al realizar una simulación de la cuenca Pastoría sin subcuencas, estamos tomando en consideración que las precipitaciones que actúan en toda la cuenca son las mismas y que sólo se tiene una pendiente media del cauce, todo lo anterior reduce en gran medida el cálculo y por tanto el tiempo de obtención, los resultados son favorables sólo con el escenario CSSL2RC1.
- Al realizar una subdivisión de la cuenca Pastoría, se toma en consideración diversas pendientes de las corrientes, por lo cual el gasto es determinado de manera simultánea sin tomar en consideración las entradas de cada una de estas corrientes, lo cual se debe de solucionar con un tránsito de los cauces o ríos.
- El procedimiento por el cual los resultados son más favorables con la utilización de subcuencas es el escenario CCSRCL21, el cual se refiere a la utilización de un parámetro R calculado por cuenca, se genera un traslado de precipitación a cada centro de gravedad de las subcuencas y se utiliza una regresión lineal para la determinación de las IDTr.
- El escenario CCSRCL21 de manera conservadora no requiere tránsito de las corrientes, pero si se desea ser más exactos se puede realizar, el resultado será una disminución de

gasto de cada periodo alrededor de 500 m³/s, lo cual significa que ajustaría perfectamente a la cuenca en estudio, recordemos que la estación hidrométrica se localiza aguas debajo del punto de salida de la cuenca.

- El volumen obtenido a partir de una estación hidrométrica es considerado como el volumen real, ya que estos volúmenes fueron obtenidos de manera directa.
- Todo aquel método que se aplica para obtención de volumen de escurrimiento por medio de estaciones meteorológicas, se les considera como un método indirecto.
- Los métodos aplicados para la determinación del volumen base a partir de la estación hidrométrica son 2, el primero consiste en dar un valor de flujo base en las peores circunstancias que se puedan tener, tomando al año en el que ocurrió un menor gasto, este procedimiento se encuentra en el lado de lo desfavorable, el segundo método se refiere al promedio de los años secos, el cual toma en consideración el incremento del flujo base por la recarga del acuífero.
- Con los volúmenes obtenidos retirando el flujo base de la estación hidrométrica por el primer procedimiento, y realizando una comparativa numérica en porcentaje, el procedimiento Ve1 es el más próximo, siguiéndole el procedimiento Ve2.
- Los volúmenes de escurrimiento aumentan según el procedimiento empleado, obteniendo el mayor volumen con el procedimiento Ve3, siguiéndole Ve1 y por último el Ve2.
- Utilizando el segundo método para retirar el flujo base de la estación hidrométrica, el volumen con mejores resultados fue el obtenido en el procedimiento Ve3, este procedimiento es el más tardado, pero el más próximo a los valores obtenidos por la estación hidrométrica, consiste fundamentalmente en el análisis a nivel de pixel, el volumen obtenido en el escenario Ve1 le sigue en segundo lugar al cálculo del volumen de escurrimiento en cuanto a su aproximación, su determinación es en mucho menos tiempo que en el escenario Ve3, su variación es entre un 10 y un 15%, el volumen de escurrimiento calculado por el escenario Ve2 permite la determinación rápida, ya que solo se utiliza la precipitación media obtenida por el método de las isoyetas y el parámetro K obtenido por mapas, la diferencia de su variación con respecto al escenario Ve3, es de un 25% a un 30% en reducción de volumen.
- Los resultados obtenidos de los volúmenes de escurrimiento de forma indirecta, son menores que los obtenidos en base a la estación hidrométrica aplicando el segundo método para retirar el flujo base.

8.2. RECOMENDACIONES.

- En la determinación de los parámetros requeridos para el cálculo del gasto máximo, si se conoce de manera aproximada la ubicación de la cuenca o subcuencas, es recomendable realizar una figura geométrica que cubra en la totalidad el área de dicha cuenca o subcuencas, a partir de esta figura se determinan los mapas a utilizar como

son el número de escurrimiento, el parámetro K, etc., con lo anterior se puede asegurar la utilización del procedimiento de cálculo de forma masiva.

- Al utilizar la ecuación para el cálculo de la precipitación a una hora a un periodo de retorno a 2 años, es recomendable automatizar los procedimientos con una hoja de cálculo generada en Excel.
- Al obtener gastos por medio de subcuencas se debe de realizar un tránsito de los ríos o corrientes que conforma la cuenca, ya que cada corriente tiene una distinta pendiente y los gastos actúan de manera simultánea, lo anterior depende del procedimiento para la obtención del gasto máximo.
- El método recomendado para la determinación de gastos ya sea por medio de una cuenca o subcuenca es el Hidrográma Unitario Triangular, en el cual para su determinación el procedimiento es con la generación de una estación ficticia al centro de gravedad de la cuenca o subcuencas, utilizar el parámetro R calculado y la determinación de las IDTr por medio de regresión lineal.

Referencias

- Campos Aranda, Daniel Francisco, Marzo del 2010. Introducción a la Hidrología Urbana. México.
- Aparicio Mijares, Francisco Javier, 1992. Fundamentos de Hidrología de Superficie, Editorial Limusa. México.
- Springall G., Rolando, Enero de 1979. Drenaje en Cuencas Pequeñas, Patrocinado por la secretaría de obras públicas. México.
- Campos Aranda, Daniel Francisco, 2007. Estimación y Aprovechamiento del escurrimiento. México.
- Campos Aranda, Daniel Francisco, 1998. Procesos del ciclo Hidrológico. México.
- <http://arqueo-gis.jimdo.com/tipos-de-sig/>
- ArcView Gis, 1996, Environmental Systems Research Institute Inc.
- Manual ArcView 3.2, Virginia Behm Caracas 2008.
- Sánchez San Román, F. Javier. Manual HEC-HMS. Dpto. Geología Univ. Salamanca. España.
- CLICOM, (2005). Climating Computing Program, Base de Datos Meteorológicos, Servicio Meteorológico Nacional, México.
- <http://www.um.es/~geograf/sig/SIGgf2000/curso.htm>.
- SIAS (1997) Sistema de Información de Aguas Superficiales. Instructivo de operación. Comisión Nacional del Agua
- Guadalupe Valtierra, José, Noviembre 2007. Desarrollo de una herramienta computacional para el diagnostico hidrológico de cuencas, Universidad Autónoma de Querétaro, Tesis de maestría. México.
- Alejo Hipólito, Mayveloth, 2010. Procedimientos para el desarrollo de un estudio hidrológico en un Sistema de Información Geográfica, caso el río Coalcomán, Coalcomán, Michoacán, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Tesis de maestría. México.

Anexos.

TABLA DEL NÚMERO DE ESCURRIMIENTO

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
De superficie muy dura		*****	**	74	84	90	92

TABLA DEL COEFICIENTE K

USO DEL SUELO	TIPO DE SUELO		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0,26	0,28	0,30
Cultivos:			
En Hilera	0,24	0,27	0,30
Legumbres o rotación de pradera	0,24	0,27	0,30
Granos pequeños	0,24	0,27	0,30
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% - Poco -	0,14	0,20	0,28
Del 50 al 75% - Regular -	0,20	0,24	0,30
Menos del 50% - Excesivo -	0,24	0,28	0,30
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0,07	0,16	0,24
Cubierto del 50 al 75%	0,12	0,22	0,26
Cubierto del 25 al 50%	0,17	0,26	0,28
Cubierto menos del 25%	0,22	0,28	0,30
Zonas urbanas	0,26	0,29	0,32
Caminos	0,27	0,30	0,33
Pradera permanente	0,18	0,24	0,30



“Primer Curso Internacional sobre *Explotación de Imágenes de Satélite para la Generación de Cartografía de Pronta Respuesta*”

PRACTICAS DE GEO-REGISTRO DE IMAGENES

Utilizando Image Warp 2.0
(Kenneth R. McVay)

Biol. Sandra A. Mora Corro

Biol. Carlos E. Zermeño Benítez

INTRODUCCIÓN:

Durante los procesos de generación de mapas de pronta respuesta, en ocasiones es necesario adquirir imágenes digitales (raster) a partir de imágenes analógicas mediante el uso de scanners o cualquier otro medio de digitalización, por tal motivo es necesario dar georreferencia a estos insumos para poder incorporarlos al sistema y así lograr un producto geográficamente útil. En esta práctica se pretende mostrar el uso de una herramienta que nos sirva de apoyo para georreferir archivos raster para ser utilizada sobre ArcView 3.x

El presente documento pretende ser una guía rápida y práctica para el REGISTRO de los archivos raster para la correcta sobreposición de información durante proceso de elaboración de mapas de pronta respuesta creados a partir de imágenes.

OBJETIVOS:

Registrar los archivos raster (.tif) a partir de archivos vectoriales (.dxf).

Registrar los archivos raster a partir de otros archivos raster (TIFF, IMG, BIL, etc.)

Asegurar la correcta sobreposición de la información vectorial sobre los archivos digitales raster tales como Fotos aéreas

INSUMOS

- 1.-Como insumos para el registro se utilizarán los archivos raster
- 2.-Como fuente de origen de coordenadas se utilizara el archivo (.DXF) del conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica Esc. 1: 50 000

Instalación de la aplicación

Para instalar ImageWarp 2.0 solo hay que descompactar el archivo "ImageWarp.zip" en un directorio temporal y hacer doble clic sobre el icono de setup.

Para la instalación del directorio usted debe elegir su directorio "AVHOME". Si no esta seguro de donde se encuentra salga del setup y corra el siguiente script corto dentro de ArcView:

```
msgBox.Info(system.GetEnvVar("AVHOME"),")
```

Este le dira en donde se localiza su directorio AVHOME. Posteriormente reinicie la sesion de setup y seleccione su directorio AVHOME para instalar el directorio.

El directorio por default (se recomienda utilizarlo) es :

c:\esri\av_gis30\arcview

Los archivos que se instalarán son:

ImageWarp.avx en el directorio EXT32

ImageWarp.hlp en el directorio ArcView help

ImageWarp.cnt en el directorio ArcView help.

ImageWarp.gid en el directorio ArcView help.

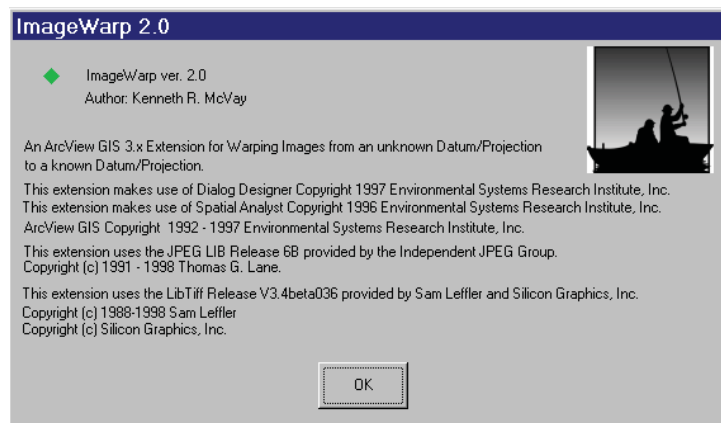
G2i.dll en el directorio Bin32.

avdlog.dll en el directorio Bin32.

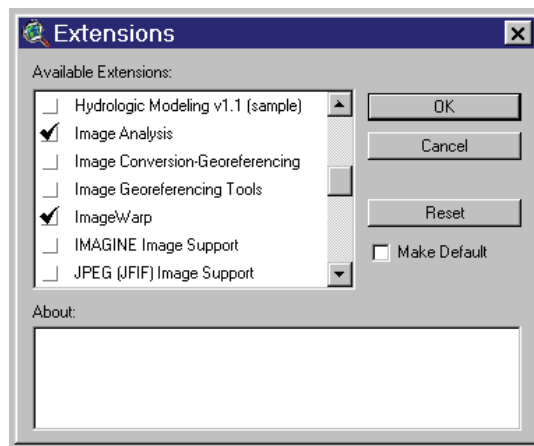
avdlog.dat en el directorio Lib32.

PROCEDIMIENTO

El procedimiento aquí expuesto tiene como base al programa ARC-VIEW y bajo la restricción de que posea el modulo o utilidad de "Image Warp 2.0".

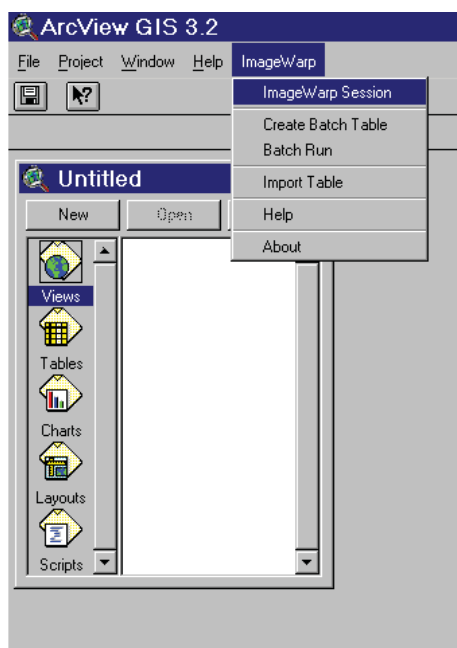


Comenzar el programa de ArcView, hacer "click" en **File** y seleccionar **Extensions**, de la lista de extensiones disponibles seleccione: **Image Análisis e ImageWarp**, presionar el botón de "OK" .

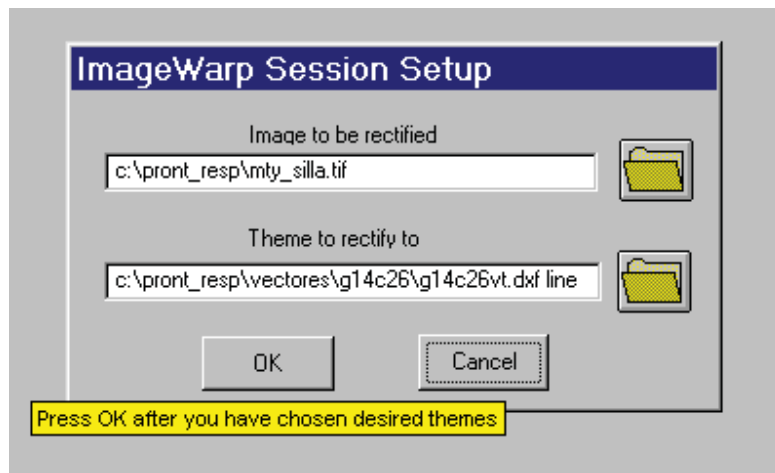


INICIAR UNA SESION IMAGE WARP

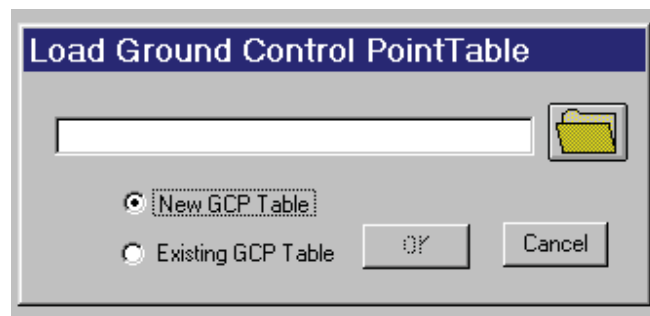
Del menú principal o GUI (Graphic User Interface) seleccione “ImageWarp” y así acceder al comando que nos inicia una sesión ImageWarp



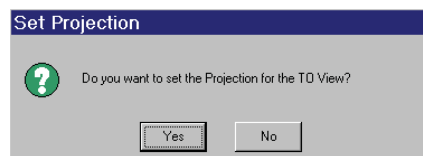
En seguida se despliega una caja de dialogo en la que se nos pide la selección de el archivo que vamos a georeferir y el tema o archivo del cual se obtendrán la coordenadas para el proceso (puede ser vector o raster).



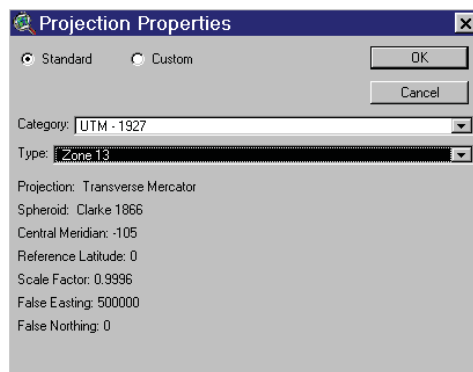
al terminar la asignación de archivos a utilizar, el siguiente paso es “cargar” una Tabla de Puntos de Control (GCP). En esta caja de dialogo se selecciona la opción en la cual se utilizará una nueva tabla y se le asigna un nombre y una ruta , en caso de que ya tengamos una de alguna proceso anterior se selecciona la otra opción.



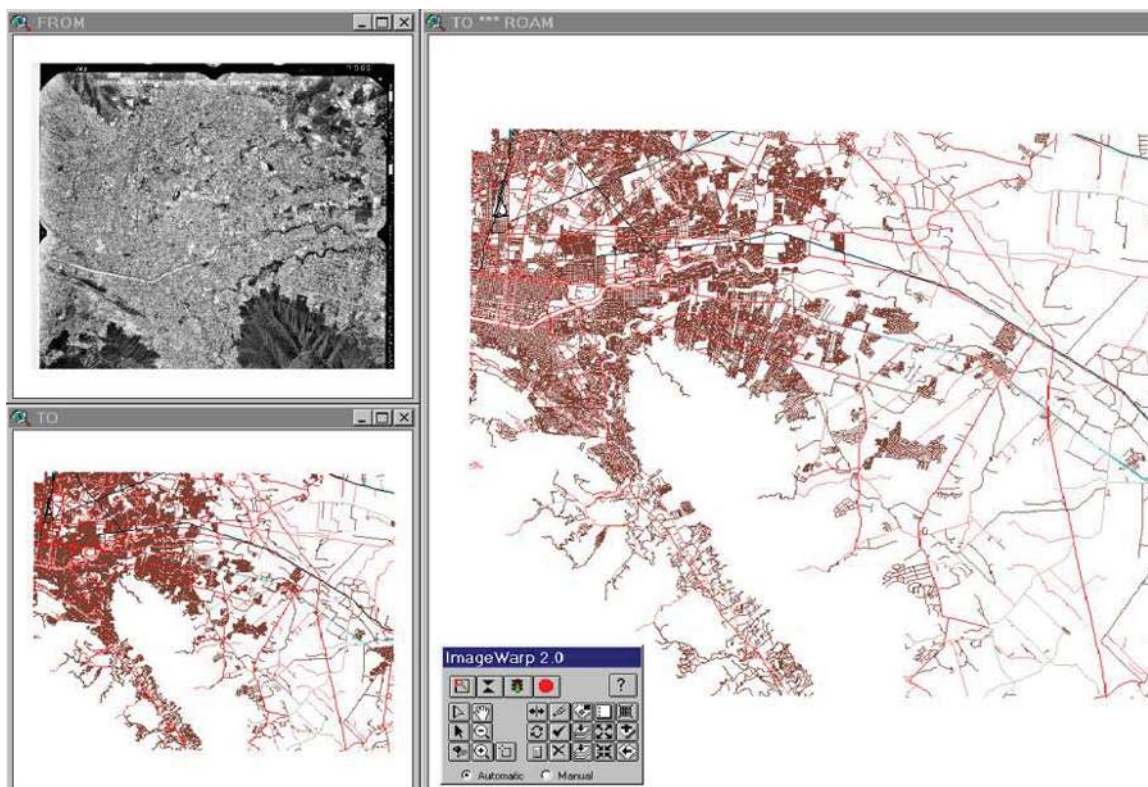
Inmediatamente aparece una ventana que pregunta si se quiere poner la proyección de la vista TO. Se selecciona “Yes” solo en el caso en que conozcamos los parámetros geograficos exactos de la proyección de la zona en donde se localiza el archivo que se asigno a la vista “To”, es decir la vista que contiene el archivo a partir del cual se obtendrán las coordenadas.



Aparece una caja de diálogo en donde se selecciona la opción Standard, en la casilla de Category se selecciona UTM-1927 y en Type se selecciona la Zona a trabajar (para el caso del ejemplo es la 14).



Una vez seleccionadas se da clic en “OK”. A continuación se despliegan lo que se conocen como VISTAS PRINCIPALES (Main Views) en donde en la vista “FROM View” se encuentra la imagen que se va a georeferir, en la vista “TO View” aparece el tema o archivo del cual se obtendrán las coordenadas para el proceso y finalmente la vista TO***ROAM, esta última es la más grande y se coloca en la parte derecha y permite un fácil movimiento de zoom y desplazamiento por la vista “TO View”.



Junto con las vistas principales aparece una caja con las herramientas que se utilizarán durante el proceso de obtención de puntos de control y realizar el registro de la imagen

La caja del Image Warp 2.0 contiene las herramientas y los botones necesarios
 Página 154 de 165


para realizar el registro. Al final del documento se hace una breve descripción de los botones y herramientas contenidas en esta caja.

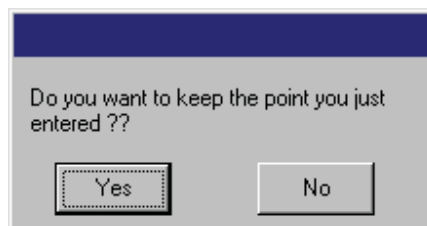
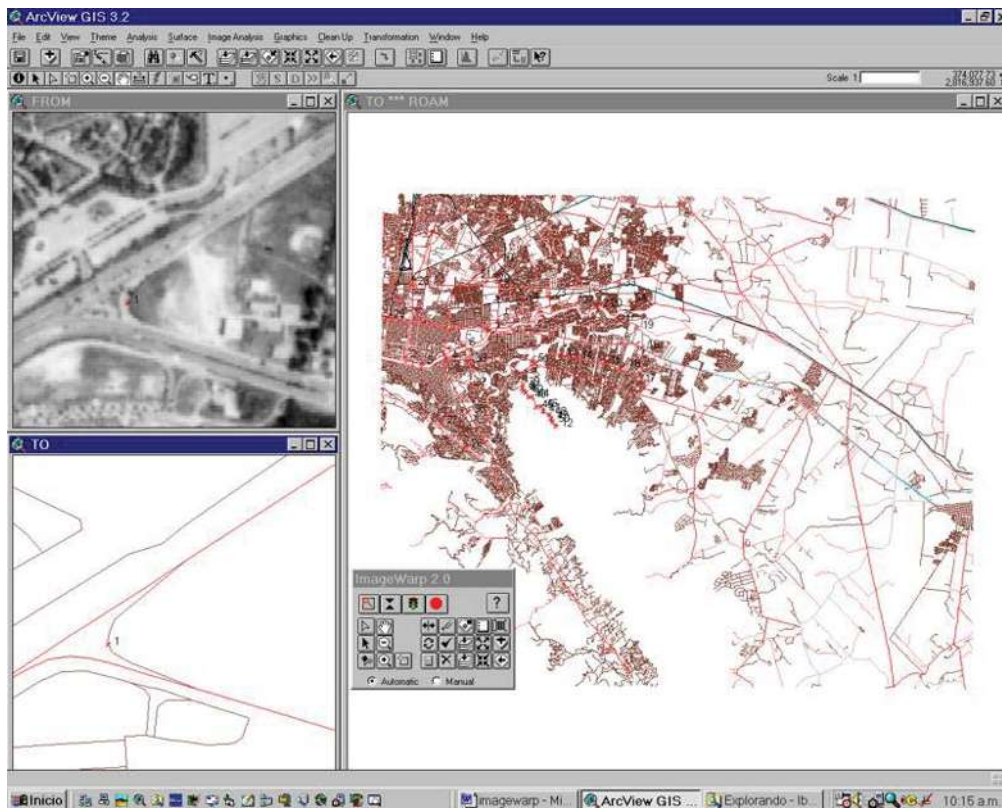


SELECCIÓN DE PUNTOS DE CONTROL (GCP)

En la vista TO se selecciona el primer GCP, se debe de tener en cuenta que entre más precisa sea nuestra selección mejores resultados obtendremos al finalizar nuestra georeferencia, algunos de los aspectos a considerar en la etapa de selección de nuestro punto de control o GCP (Ground Control Point, por sus siglas en inglés) son los siguientes:

- Tener la seguridad que el rasgo seleccionado en la vista To es el mismo que el de la vista From.
- Utilizar un Zoom adecuado en el momento de la selección de los GCPs esto nos permite acercarnos a una precisión adecuada.
- Distribuir, hasta donde sea posible, de manera uniforme los GCPs en toda nuestra imagen que nos interesa georeferir.
- Si la imagen a georeferir va a ser parte de un mosaico de imágenes tenemos que darle especial atención a las zonas de ligue, esto es colocando mas GCPs en esta zona .
- Es mas importante la precisión con la que seleccionemos nuestros GCPs que la cantidad de ellos.

Para proceder a colocar el primer GCP se da un clic en la herramienta  que permite crearlos. El primer GCP se debe colocar en la vista TO, una vez hecho esto aparece una caja de diálogo preguntando si se esta seguro de querer colocar el GCP en el lugar seleccionado, a lo cual, de estar completamente seguros de eso se da un clic en Yes, de lo contrario se pone No y se repite la operación de colocar el primer GCP.



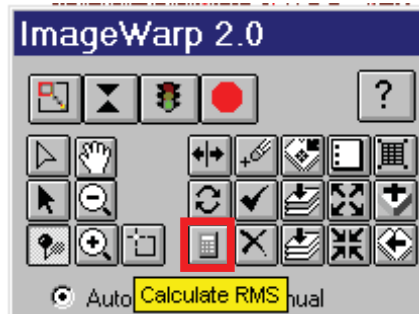
Esta operación se repite para colocar el GCP en la vista FROM, y así durante toda la etapa de selección de puntos.

Una vez colocados los todos los GCP's en la caja del Image Warp 2.0 se selecciona el botón Zoom In en las vistas TO y FROM lo que da la posibilidad de ver de que manera se hemos distribuido nuestros GCPs

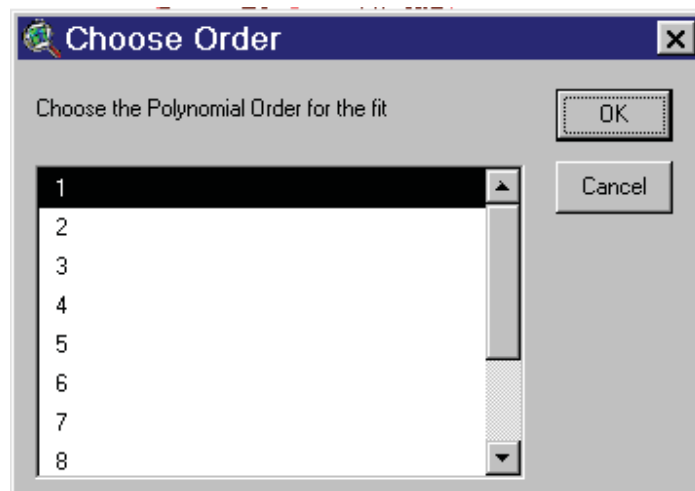
Durante este primer paso se pueden utilizar el resto de las herramientas para borrar, cambiar, mover, reubicar puntos, Zoom In, Zoom Out y Pan o para seleccionar algún rasgo, como complemento a esta información se puede consultar al final de este documento la sección de botones y herramientas.

CALCULO DEL ERROR CUADRÁTICO MEDIO

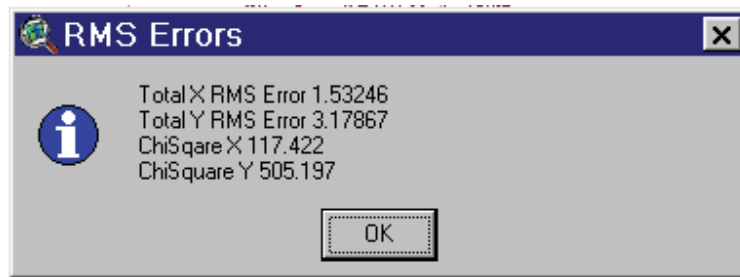
Una vez seguros de la ubicación de todos GCP's, se calcula el RMS (Error Cuadrático Medio) junto con el orden para el polinomio. Se selecciona el botón de la calculadora (Calculate RMS)



Inmediatamente aparece una ventana denominada Choose Order en donde se selecciona el orden o grado del polinomio a utilizar según el numero de GCP's . Para polinomios de primer orden se necesitan por lo menos 3 GCP's, 6 GCP's para segundo orden y 10 GCP's para tercer orden, etc.



Una vez seleccionado el polinomio aparece una ventana "RMS Errors señalando el RMS (Error Cuadrático Medio) en X, en Y y sus respectivos valores de Chi cuadrada, se da un clic en "OK".



Después nos pregunta si deseamos Crear el Reporte de salida, se recomienda tener este reporte para revisar el error en las coordenadas X y Y.

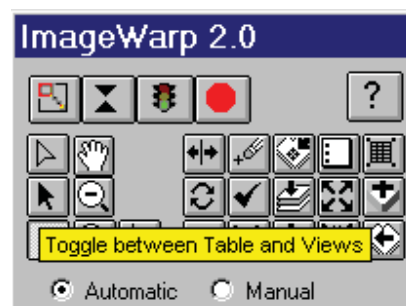


Este reporte se puede leer con WordPad ya que es un archivo de texto.

Si no estamos de acuerdo con el nivel de error con el que se va a correr el proceso de georreferencia tenemos la alternativa de acceder a la tabla de los GCP y consultar directamente el nivel de error para cada GCP y desde la caja de herramientas ImageWarp 2.0 seleccionar los puntos que no deseamos que sean considerados durante el proceso de la manera siguiente:

CONSULTAR LA TABLA DE GCPs

En la caja de herramientas ImageWarp 2.0 oprimimos el botón que permite visualizar la tabla que contiene los GCP para poder detectar aquellos puntos con mas alto valor de error. Volviéndolo a oprimir regresa a las vistas principales.




ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

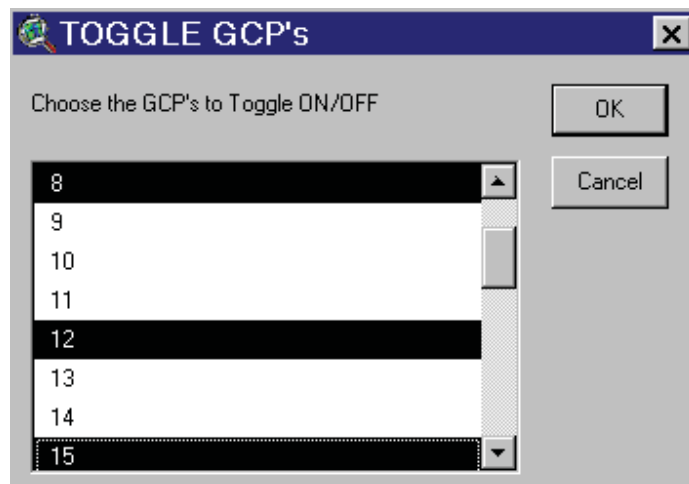
0 of 50 selected

gcpmty.dbf

Gcp	Use_point	From_x	From_y	To_x	To_y	X_err	Y_err
1	ON	6.1330	-5.9987	374874.4802	2838895.5324	-2.8950	-9.3310
2	ON	2.5141	-5.8127	367504.9998	2839252.9371	-3.1440	-2.0940
3	ON	2.9777	-5.9955	368446.3630	2838881.3797	0.9570	9.4640
4	ON	3.6389	-5.8206	369804.8767	2839219.7820	14.4480	-23.1110
5	ON	3.7515	-5.5577	370013.3129	2839783.7859	-10.0940	6.6140
6	ON	4.1666	-5.4993	370856.8665	2839906.3954	-6.0620	-4.7600
7	ON	4.8585	-5.0892	372271.7806	2840757.3056	3.4840	-0.9140
8	ON	5.0997	-4.8322	372754.8622	2841286.9788	-3.7210	-1.8990
9	ON	5.1254	-3.7579	372803.9060	2843491.4983	9.6970	-0.2950
10	ON	5.0720	-3.1777	372669.0355	2844700.4284	-15.5870	2.4740
11	ON	5.0483	-2.9029	372646.9658	2845293.8586	6.5840	-1.4110
12	ON	6.9319	-8.0828	376041.9258	2835346.2899	-0.9360	7.1500
13	ON	6.8270	-5.7709	376313.2538	2839376.1450	-1.8540	6.3410
14	ON	7.2204	-5.8533	377118.8156	2839211.1180	-0.7080	0.3160
15	ON	8.0204	-5.9862	378767.3973	2838945.2177	0.9740	-6.2080
16	ON	8.5414	-6.1032	379849.9914	2838713.5046	0.0530	5.7550
17	ON	8.9614	-6.5152	380719.8651	2837877.8180	1.5670	-1.2190
18	ON	9.0505	-5.5955	380917.3911	2839754.3143	-7.6940	0.9510
19	ON	8.8809	-5.0474	380579.1351	2840902.2346	11.8380	-3.2460
20	ON	8.0470	-4.4472	378820.5774	2842128.4239	-2.3150	2.0890

Una vez detectados los puntos se tiene dos alternativas para mejorar la precisión del proceso, la primera es eliminar los puntos que consideramos que están ocasionando mas “ruido” desde las vistas To y From, o utilizar el botón  de la caja de herramientas.

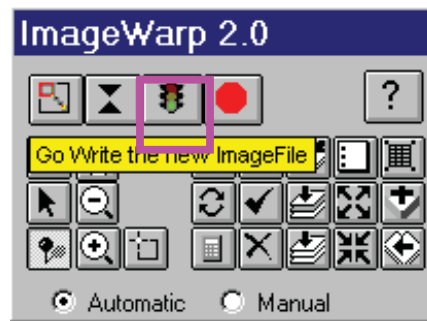
Este botón enciende o apaga (ON/OFF) los GCP's que se seleccionen. En algunas ocasiones no se querrá eliminar por completo algún GCP's, y este botón permite apagarlo, es decir, que no se tomara en cuenta al momento de calcular el RMS. Al oprimir este boton nos aparece una caja de dialogo en donde podemos seleccionar los puntos detectados



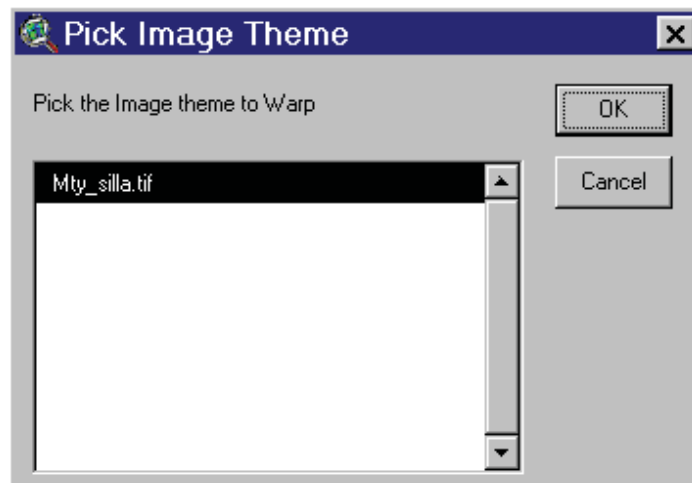
Los puntos que decidimos “apagar” en las vistas cambiaran su color esto con el fin de que podamos saber cuales si seran utilizados durante el proceso.

Posteriormente se vuelve a calcular el error cuadrático medio de la manera anteriormente descrita y se procede a correr la georreferencia.

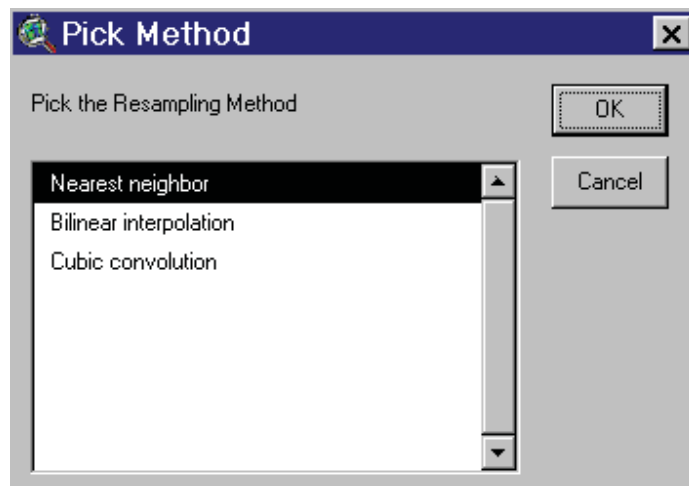
Después de seleccionar el polinomio y estar conforme con el cálculo del RMS, se da inicio al registro (Warp). Se selecciona el botón GO (Go Write the new ImageFile) para crear la nueva imagen ya corregida. Nota: El error cuadrático es aceptable según sea el caso.



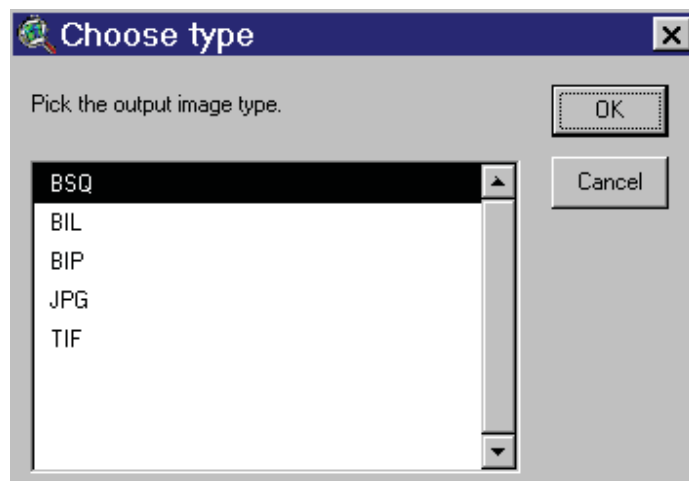
Al oprimir este botón aparece una ventana en donde debemos seleccionar la imagen a la cual se le correrá el proceso de georreferencia. Recordemos que los puntos de control están habilitados en las vistas, no directamente en las imágenes por lo cual el sistema nos pregunta lo anterior.



Después seleccionamos el metodo matemático con el cual se correrá el proceso mediante la ventana "Pick Method"

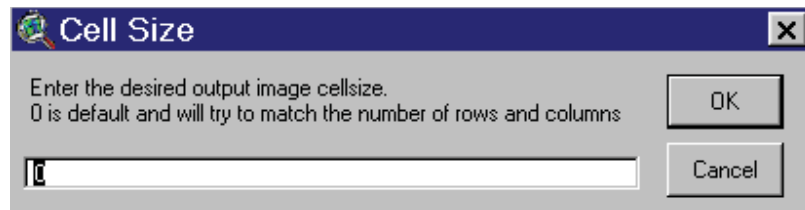
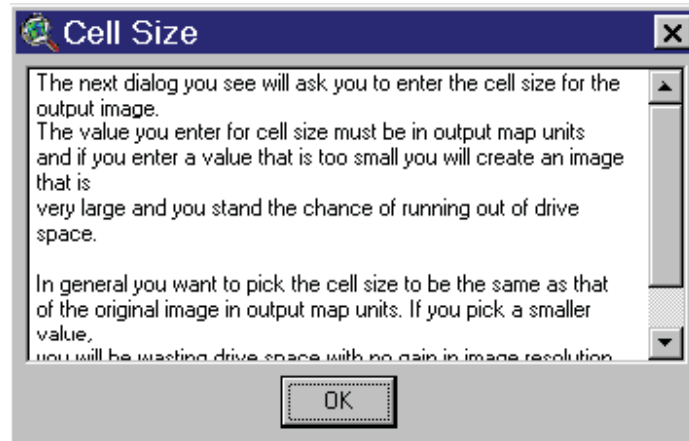


Inmediatamente aparece una ventana en donde se elige el formato de la nueva imagen que resultara de la georreferencia. Aquí se recomienda utilizar un formato que sea fácilmente leído por otros softwares como tanto de aplicaciones SIG o de diseño grafico, el formato TIF simple con esto.



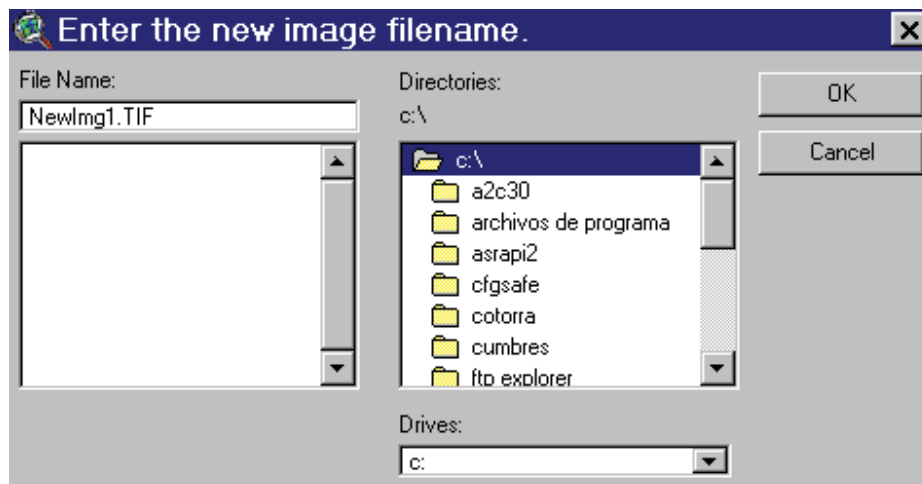
El siguiente paso es elegir el tamaño de píxel de la nueva imagen de salida mediante las siguientes cajas de dialogo:

En este primer mensaje nos indica que en el siguiente dialogo se debe seleccionar el tamaño del píxel que que desaemos que tenga la imagen de salida , tambien nos hace una serie de advertencias si es que elegimos un tamaño pequeño de píxel.

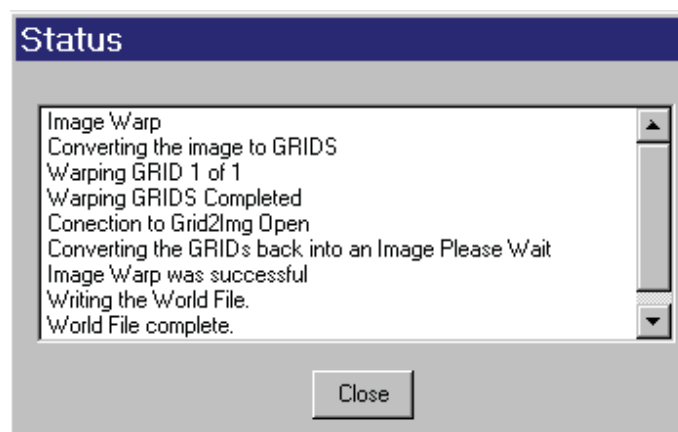
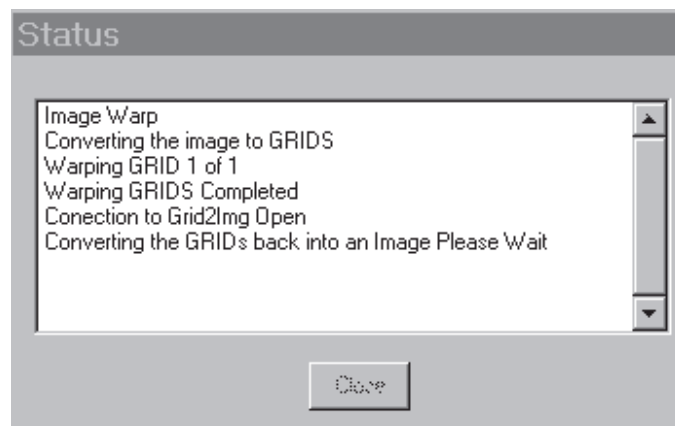


lo mas conveniente es dejar la misma resolución de la imagen, es decir, no cambiar el tamaño del píxel en la imagen de salida, para lo cual oprimimos “OK” dejando el valor que nos da por default el cual es cero.

Por ultimo se le asigna nombre y ubicación al archivo de salida.



A continuación estos son los mensajes que se despliegan durante el proceso de georeferencia



Una vez terminado el registro aparece una caja de diálogo en donde nos indica que el proceso ha sido terminado exitosamente.

REPORTE

El reporte es un archivo de texto y se puede leer en WordPad, observando los siguientes datos

GCP ID	Input X	Input Y	Output X	Output Y	X error	Y error
001	000000199676.500	000002878970.000	000000199573.522	000002879025.886	-00000000000.000	00000000000.000
002	000000399917.430	000002875904.014	000000399920.975	000002875972.889	00000000000.000	-00000000000.000
003	000000399085.230	000002765162.029	000000399125.148	000002765174.784	-00000000000.000	00000000000.000
004	000000197192.221	000002768125.706	000000197124.780	000002768125.299	00000000000.000	-00000000000.000

***RMS Error = 1.3721e-005 in Output Map Units.**

*El RMS se calcula de la siguiente manera $(1.3721) * (0.00005) = 0.000068605$
 Las unidades del mapa de salida (Output Map Units) estan en metros, esto quiere decir que el error es de mas-menos 0.00007 metros

A continuación se hace una breve descripción de los botones y herramientas que estan contenidos en la caja de herramientas ImageWarp 2.0 y que se utilizarán durante el registro son

HERRAMIENTAS



Esta herramienta es para seleccionar los Puntos de Control de Campo (GCP por sus siglas en inglés Ground Control Point). Se puede seleccionar otros objetos con esta misma herramienta para borrar, cambiar o mover.



Esta herramienta es para mover los GCP. Una vez que se haya seleccionado la vista TO o la vista FROM, usando esta herramienta se puede dar clic en la nueva posición del punto y este sera reubicado.



Esta es la herramienta que permite crear un GCP. Se debe siempre crear un punto primero en la vista TO y posteriormente en la vista FROM



Las herramientas Zoom In, Zoom Out y Pan se utilizan exactamente igual que en cualquier sección de ArcView con una sola excepción cuando se da un zoom en la vista TO ROAM el zoom que se escogio se visualiza en la vista TO. No se puede utilizar la herramienta Pan en TO ROAM.



La herramienta de Seleccionar Rasgo. Esta herramienta solo se activa en la vista FROM.

BOTONES



Este botón permite habilitar o deshabilitar la tabla de contenido de las vistas y así poder manipular colores, líneas, etc. de los temas.



Oprimir este botón permite visualizar la tabla que contiene los GCP, y volviéndolo a oprimir regresa a las vistas principales.



Este botón calcula el Error Cuadrático Medio (por sus siglas en inglés RMS) a partir del polinomio requerido, según el número de GCP's que se eligieron. Para polinomios de primer orden se necesitan por lo menos 3 GCP's, 6 GCP's para segundo orden y 10 GCP's para tercer orden.



Botón para borrar varios GCP's. Al oprimir este botón se despliega una caja de diálogo que permite seleccionar uno o más GCP's que se quieran eliminar.



Este botón enciende o apaga (ON/OFF) los GCP's que se seleccionen. En algunas ocasiones no se querrá eliminar por completo algún GCP's, y este botón permite apagarlo, es decir, que no se tomara en cuenta al momento de calcular el RMS.



Botón para borrar un solo GCP.



El botón "Go Write" es utilizado para iniciar el registro (Warp). Después de haber seleccionados los GCP's y este conforme con el cálculo del RMS, entonces se puede utilizar este botón para crear la nueva Imagen ya corregida.



Estos son los botones estándar de ArcView: Zoom to Selected, Zoom to Theme, Zoom to Extents, Select None, Zoom Out, Zoom In, Add Themes, and Zoom to Previous. Estos botones se trabajan de manera habitual.



Este botón permite abandonar la sesión ImageWarp.