



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN
NICOLAS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

**GENERACION DE MAPAS DE RIESGO DE INUNDACION
PARA EL ESTADO DE MICHOACAN (LA PIEDAD)**

TESIS

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

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL**

PRESENTA

EDGAR DARINEL ACEVEDO AMEZCUA

ASESOR DE TESIS

DRA. SONIA TATIANA SANCHEZ QUISPE

Morelia, Michoacán Marzo del 2012

Contenido

1.- INTRODUCCION	09
2.- ANTECEDENTES	11
2.1 Métodos Históricos	12
2.1.1 Métodos Paleohidrológicos	12
2.2 Métodos geológicos-geomorfológicos	12
2.3 Métodos Hidrológicos e Hidráulicos	13
2.3.1 Métodos Hidrológicos	14
2.3.2 Métodos Hidráulicos	16
2.4 Métodos Hidrometeorológicos	17
2.4.1 Método Racional	18
2.4.2 Hidrograma Unitario.....	18
3.- SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA	20
3.1 Definición de un Sistema de Información Geográfica (SIG).	20
I.- ArcView	24
a) Visualización	25
b) Generación de Productos Cartográficos	25
c) Consulta Grafica y Tabular	25
d) Análisis Espacial.....	25
e) Integración de Datos	26
II.- Idrisi.....	26
III.- Idrisi Andes.....	27
a) Innovaciones en Idrisi Andes.....	28
b) Componentes de Idrisi Andes	28
c) ¿Qué se puede hacer con Idrisi Andes?.....	29
4.- MODELOS MATEMATICOS	30
4.1 Modelos Hidrológicos.....	30
4.1.1 Modelos Deterministas	30
4.1.2 Modelos Estocásticos	31
4.1.3 Modelos Agregados.....	31
4.1.4 Modelos Distribuidos.	31

4.1.5 Modelos Cuasidistribuidos	31
4.2 Modelación Hidrológica.....	32
a) Modelos de Suceso y Modelos Continuos.	34
b) Modelos Agregados y Modelos Distribuidos.	34
c) Modelos Físicos y Conceptuales.....	35
d) Modelos Según Su Objetivo.....	36
4.3. Apoyo en la Cartografía Digital.....	37
5.- CUENCAS DEL POBLADO DE LA PIEDAD (HIDROLOGIA Y FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO)	39
5.1 Conceptos Fundamentales.....	39
a) Tipos de Cuencas.....	40
b) Características de las Cuencas	40
c) Características Morfológicas de las Cuencas	40
5.2 Objetivo	41
5.2.1 Antecedentes	41
5.2.1.1 Localización Política y Geográfica.....	41
5.2.1.2 Condiciones Naturales de la Cuenca	42
a) Geología	42
5.3 Información Disponible	42
5.3.1 Climatología.....	42
5.3.2 Hidrometría	43
5.3.3 Topográfica.....	43
5.4 Estudio Hidrológico.....	43
5.4.1 Información Analizada	43
5.4.2 Identificación de la Cuenca	43
a) Parteaguas.....	43
5.4.2.1 Características Geomorfológicas de la Cuenca	45
a) Área de las cuencas.....	45
b) Mapa de Corrientes	45
c) Longitud del Cauce Principal	48
d) Pendiente Media del Cauce Principal	48
5.5 Otras Características de las Cuencas	52

5.5.1 Número de Escurrimiento (N)	52
5.5.2 Tiempo de Concentración (tc)	59
5.6 Gastos de Diseño	59
5.6.1 Calculo de Avenidas a Partir de Datos de Precipitación	60
5.6.1.1 Datos Tratados de la Estación Meteorológica Base (Arteaga)	60
5.6.2 Tormenta de Diseño (idtr)	62
5.6.2.1 Ajuste a Diversas Funciones de Distribución de la Precipitación Máxima 24 horas.	62
a) Función de Distribución Que Mejor Ajusta	68
b) Traslado de Datos al Centro de Gravedad	68
c) Determinación de las $i - d - tr$	71
5.6.2.1 Métodos Lluvia-Escurrimiento	73
a) Métodos Empíricos	73
I) Método Racional	73
II) Método de Envolventes	74
b) Métodos Hidrológicos	75
I) Método Hidrograma Unitario Triangular	75
II) Método de Chow	76
5.6.3 Gastos Máximos Para Diferentes Periodos de Retorno	77
5.7 Funcionamiento Hidráulico del Sistema Fluvial de la Piedad	78
5.7.1 Funcionamiento Hidráulico Aplicado a las Cuencas de la Piedad	78
5.7.2 Información Requerida	79
5.7.3 Datos de Entrada	79
1) Características Geometricas del Canal	79
2) Características Hidraulicas	79
3) Características Topográficas del Flujo Estudiado	79
5.7.4 Topografía	79
a) Planta Topográfica	79
5.7.5 Gastos Obtenidos Por el Estudio Hidrológico	80
5.7.6 Coeficiente de Rugosidad de Manning	81
5.7.7 Modelacion del Sistema Fluvial de la Piedad	82
5.7.7.1 Puentes	84
5.7.8 Calibración del Modelo	87

5.7.9 Resultados	88
6.- MODELOS DE FUNCIONAMIENTOS HIDRAULICO HEC-RAS	89
6.1 Modelación Hidráulica.....	89
6.1.1 Aplicación y Aporte de los Modelos Hidráulico.....	89
6.1.2 La Apreciación Global	91
6.2 Crear un Proyecto Nuevo o Abrir uno Existente	95
6.2.1 Crear un Proyecto Nuevo	95
6.2.2 Cambiar el Sistema de Unidades	96
6.2.3 Ingreso de los Datos Geométricos.....	97
6.2.3.1 Crear el Tramo.....	97
6.2.3.1.1 Georeferenciar el Tramo	98
6.2.3.2 Ingreso de Secciones Transversales	99
6.2.3.3 Ingreso de los Datos Hidráulicos: Caudal y Condiciones de Contorno.....	101
6.2.3.3.1 Ingreso de Caudales	102
6.2.3.3.2 Introducir Las Condiciones de Contorno	102
6.2.3.4 Crear un Plan y Ejecutar Una Simulación	103
6.2.3.4.1 Fundamento del Proceso Computacional	103
6.2.3.4.2 Crear un Plan y Efectuar la Simulación.....	104
6.2.3.5 Ver e Imprimir los Resultados	105
6.2.3.5.1 Resultados Desde el Menu VIEW	106
6.2.3.5.1.1 Secciones Transversales	107
6.2.3.5.1.2 Perfiles de Las Láminas de Agua.....	107
6.2.3.5.1.4 Ver Dibujos en Perspectiva	108
6.2.3.5.1.5 Ver Tablas de Detalle (Detailed Output Table)	108
6.2.3.5.1.6 Ver Tabla de Resumen (Profile Summary Table).....	109
6.2.3.5.1.7 Ver Resumen de Errores, Advertencias y Notas (SummaryErr, Warn, Notes)	109
a) Traducción de Avisos Más Comunes	110
b) Traducción de Notas Más Comunes	111
7.- PROCEDIMIENTOS DE GENERACION DE MAPAS DE RIESGO DE INUNDACION	113
7.1 Procedimientos de Generación de Mapas de Riesgo de Inundación.....	113

7.1.2. Delineación Automática de las Áreas Especiales de Riesgo	114
7.1.3 Instalación de HEC-GeoRAS.....	115
7.2. Activación de HEC-GeoRAS.....	116
7.2.1 Cartografía Necesaria	117
7.2.2 Esquema de Trabajo	117
7.3 Trabajo Previo con ArcView (PreRas)	117
7.3.1 Creación de un Nuevo Proyecto de ArcView (File/new proyect) y de Una Nueva Vista.....	117
7.3.2 Generación del Modelo Digital de Elevaciones (MDT).....	117
7.3.3 Pasos Básicos Posteriores a la Generación del TIN	118
7.3.4 Trabajo Final con ArcView (PostRas).....	121
8.- DESARROLLO DE MAPAS DE RIESGO DE INUNDACION PARA LA PIEDAD MICHUACAN	123
8.1 Información Disponible de la Piedad Michoacán.....	123
8.2 Obtención de un MDT en Formato TIN	123
8.2.1 Creación de Archivo de Intercambio Para Importar a HEC-RAS.....	125
8.2.3 Simulación de Meandro con HEC-RAS.....	130
8.2.4 Exportar Resultados de HEC-RAS a ArcView	131
8.2.5 Tratamiento de Resultados con ArcView	134
9.- ANALISIS DE RESULTADOS.....	137
9.1 Lámina de Agua Para los Diferentes Periodos de Retorno.....	137
9.2 Identificación de Zonas Inundables.....	138
9.2.1 Identificación de Zonas Inundables Para Tr 2 años.....	138
9.2.2 Identificación de Zonas Inundables Para Tr 100 años.....	140
9.2.3 Identificación de Zonas Inundables Para Tr 500 años.....	146
10.- CONCLUSIONES.....	154

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a lo más valioso que tengo, a lo que siempre esta cuando más lo necesito en los momentos buenos y malos, aquellos que se alegran por mis logros y me apoyan a salir adelante cuando me veo derrotado, por eso y de todo corazón se la dedico a **MI FAMILIA**, con mucho cariño principalmente a mis padres que me dieron la vida, gracias por todo Papa y Mama por creer en mi por darme una carrera para mi futuro, gracias Papa por enseñarme a valorar las cosas por enseñarme con tu ejemplo a salir adelante, gracias mama por esas palabras de aliento y por ese amor incondicional.

A mis Hermanos(as), Mónica, Lorena, Artemio, Yedit, Floriberto e Isidro que sin duda son los mejores hermanos, que me han apoyado y han sido pieza clave y ejemplo a seguir para mi formación gracias Hermanos.

La dedico también a mi novia y mejor amiga Delicia quien me ha apoyado y siempre y ha estado a mi lado para darme esas palabras de aliento para seguir adelante y se ha convertido en el pilar de mi vida, gracias por acompañarme en mi camino y gracias por apoyarme en todo.

A todos mis amigos(as) que sin duda son bastantes, muchas gracias por estar conmigo en todo este tiempo donde he vivido momentos felices y tristes, gracias por ser mis amigos y recuerden que los llevare en mi corazón.

No me despido sin antes decirles que sin ustedes no lo hubiera logrado, a pesar de tantas desveladas ahora veo que en la vida cada esfuerzo que haces siempre hay algo bueno para ti.

Simplemente este trabajo se lo dedico para ustedes!

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a la Dra. Sonia Tatiana del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por su apoyo durante el desarrollo de mi tesis y por compartir sus conocimientos conmigo, además de que como ser humano es una extraordinaria persona, que siempre ha estado al pendiente de uno, también quiero agradecer al Dr. Constantino que sin duda aprendí muchas cosas de él, no solo como profesor sino también como amigo que sin duda me servirán para la vida, sé que es poco con decirles gracias pero en el fondo de mi ser eternamente les estaré agradecido.

A los profesores que compartieron conmigo sus conocimientos y su experiencia, por los buenos momentos que compartieron no solo conmigo, si no con todos mis compañeros.

También un agradecimiento por el apoyo económico del COECYT (Consejo Estatal de Ciencia Y Tecnología) que hizo posible la dedicación de tiempo completo a mi trabajo de tesis.

Y por ultimo pero no menos importante un agradecimiento especial también a todos mis compañeros aunque nuestras vidas tomen rumbos diferentes gracias por existir en mi vida y que de cada uno de ustedes aprendí muchas cosas y por compartir momentos agradables y de tensión en las aulas de la facultad, gracias compañeros

1.- INTRODUCCION

Uno de los objetivos de la protección civil en México es la prevención de desastres de origen natural, en el caso que nos ocupa, de carácter hidrometeorológico como son las inundaciones. Para lograr lo anterior, se deben llevar a cabo diversas medidas de mitigación, como son estructurales y no estructurales, que procuran reducir o minimizar los efectos de desastres provocados por ciclones tropicales o lluvias intensas. Dentro de las medidas no estructurales destaca la elaboración de mapas de riesgo de inundación como una herramienta útil, para autoridades de protección civil y de desarrollo urbano y ordenamiento territorial, en la delimitación de áreas de peligro para la población.

Asimismo, en la elaboración de mapas de riesgo de inundación, es necesario contar con metodologías para cada uno de este fenómeno, que permitan de manera clara y relativamente sencilla, precisarlo a través de una combinación de mapas de peligro y de vulnerabilidad de la vivienda, especialmente de la integridad física de las personas, principalmente durante avenidas súbitas.

Las inundaciones vienen siempre acompañadas de arrastre de material sólido proveniente de las partes altas de la cuenca, cuya cantidad depende de las características de la cubierta vegetal, tipo de suelo y pendiente. Asimismo, dichas características nos ayudan a definir las áreas de depósito del material de arrastre.

Por otra parte, los tiempos de concentración de los escurrimientos en cada una de las cuencas, y sus pendientes, definen si las inundaciones son súbitas o de proceso lento. Las avenidas súbitas se presentan generalmente en cuencas ubicadas en zonas con montañas de fuerte pendiente, donde existen pequeños valles, barrancas, y abanicos aluviales al pie de éstas. También pueden presentarse debido al rompimiento de un bordo, presa o represa, o en ciudades cuyo suelo, o piso, presenta un alto coeficiente de escurrimiento, es decir, son muy impermeables. Su característica y peligrosidad más importante es que ocurren de manera imprevista, lo que dificulta alertar con mucho tiempo de antelación. Como consecuencia de ello, este fenómeno puede cobrar una mayor cantidad de vidas humanas.

Para este trabajo en particular se incluye una metodología desarrollada en España y que actualmente esta teniendo mucho auge aquí en México.

La metodología contemplará lo siguiente: definición de conceptos básicos, que permiten entender este estudio; aspectos geográficos, tales como escalas recomendadas, proyecciones, integración de la información y fuentes de

información fundamental. Por tal razón, el mapeo de esta amenaza es de mucha importancia y la importancia de los SIG (Sistemas de Información Geográfica) se incluye como principal herramienta dentro del mapeo de las amenazas naturales. Adicionalmente se analizará la manera de identificar el peligro, el criterio de evaluación de la vulnerabilidad y el de riesgo. Finalmente se presentará el estudio del Meandro ubicado en la ciudad de La Piedad Michoacán.

2.- ANTECEDENTES

El análisis de la peligrosidad de inundaciones se ha realizado empleando de manera combinada y complementaria una serie de técnicas y procedimientos, que ha grandes rasgos puede agruparse en tres aproximaciones meteorológicas. **Método histórico y Paleohidrológicos, Métodos Geológicos y Geomorfológicos y Métodos Hidrológicos e Hidráulicos.** (Diez-Herrero,2002). Como se observa en la siguiente figura (Fig. 2-1).

Aparte están los Métodos mixtos y los de fundamentos botánicos o ecológicos, como los dendrogeomorfológicos (Diez et al., 2008) y los liquenometricos, aún en fase de investigación.

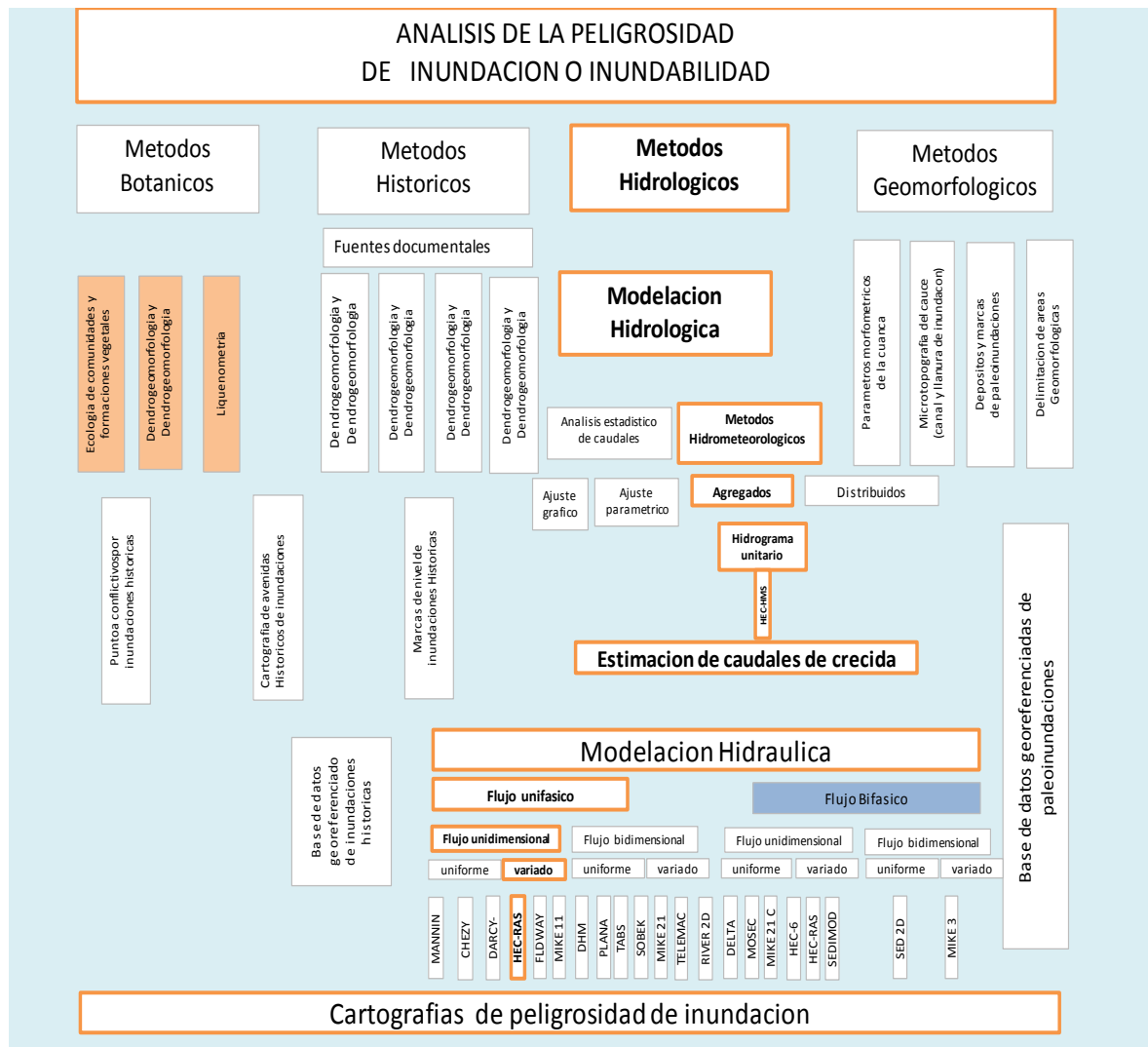


Figura 2-1 Análisis de la peligrosidad de inundación

2.1 Métodos Históricos

Los **métodos históricos** emplean marcas y placas sobre elementos artificiales (edificaciones, vías de comunicación, obras públicas, etc.), documentación histórica (Manuscritos e impresos de archivos, bibliotecas y hemerotecas), testimonios (orales o audiovisuales) para reconstruir la extensión cubierta o la cota alcanzada por las aguas durante una crecida desencadenada en el periodo histórico. Una aplicación simple de esta metodología consiste en suponer que si el agua alguna vez ha alcanzado ciertos niveles puede alcanzarlos también en un futuro no muy lejano, determinando esta zona como “**de crecida histórica**”. Algo más sofisticados son los estudios que trasponen estos niveles a caudales circulantes mediante modelos hidráulicos y les asignan una determinada probabilidad, permitiendo que se introduzcan como datos complementarios en el análisis estadístico de caudales procedentes del registro ordinario; o los que asignan las frecuencias de inundación histórica a unidades y elementos geomorfológicos (Lastra era/. 2008).

2.1.1 Métodos Paleohidrológicos

Estos métodos del registro geológico emplean determinados tipos de depósitos o marcas de las Inundaciones pretéritas (anteriores al periodo histórico) en relación con elementos datables mediante técnicas paleontológicas, o arqueológicas. Puede igualmente asignarse una probabilidad de ocurrencia a los caudales resultantes de la modelización hidráulica a partir de esos niveles y velocidades. (Benito, 2002; Benito ef al., 2004).

2.2 Métodos Geológicos-Geomorfológicos

Emplean la disposición y tipología de las formas del terreno y los depósitos generados durante o tras el evento de avenida. Con ello se pueden delimitar las áreas geomorfológicamente activas dentro del cauce fluvial y sus márgenes, y por tanto susceptibles de ser inundadas en el marco de la dinámica natural de la corriente fluvial, su frecuencia cualitativa de inundación, e incluso inferir órdenes de magnitud de parámetros como la profundidad, velocidad de la corriente o carga sólida transportada. Información más detallada sobre estos métodos y su aplicación puede obtenerse en Ayala (1985), Baker el al. (1988), Diez y Pedraza (1996), Diez-Herrero (2002a), Marquíneze al. (2006a y b), Ortega y Garzón (2006) y Lastra efal. (2008).

2.3 Métodos Hidrológicos e Hidráulicos

Los métodos hidrológicos permiten estimar los caudales para un periodo de retorno dado a partir de series de datos de caudales, de precipitaciones y del estudio de la infiltración. Estos caudales, junto con la estimación de los parámetros hidráulicos, condiciones de contorno y topografía de muy alto detalle sirven de entrada al modelo hidráulico, el cual nos permitirá obtener la altura, calado y velocidad de la lámina de agua (A. Diez-Herrero 2008) (Figura 2-2).

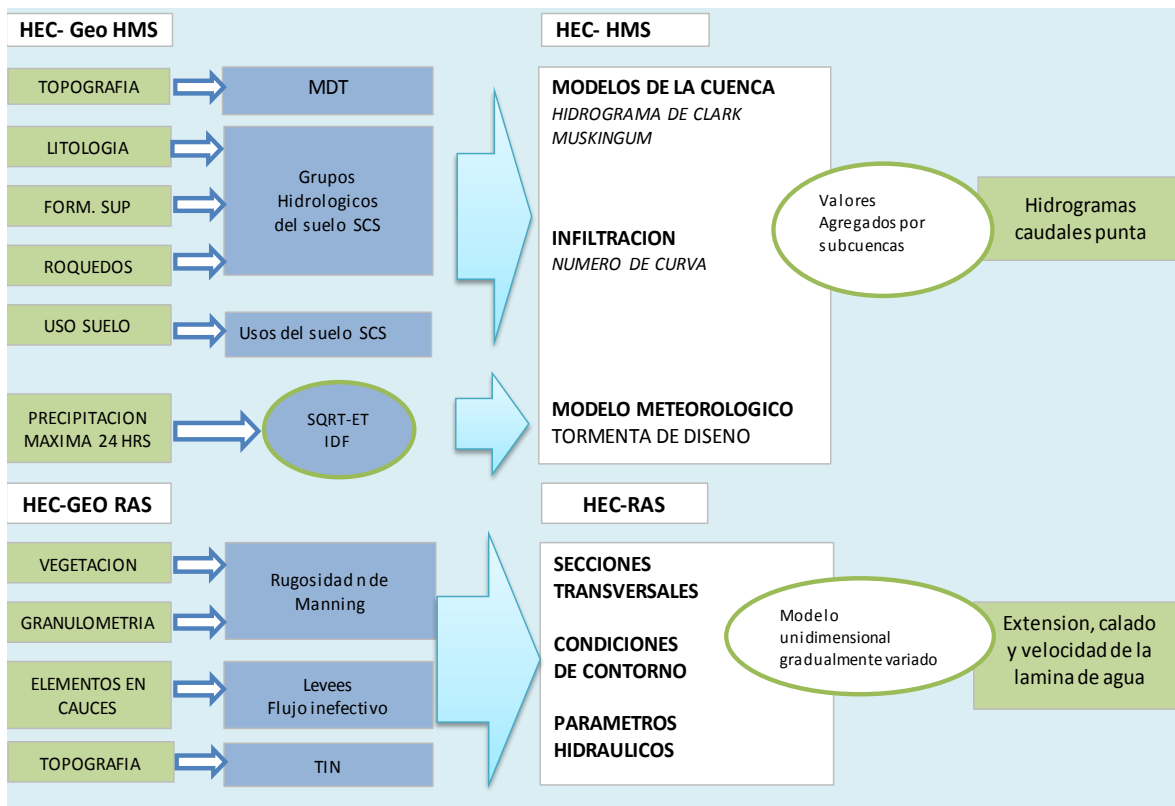


Figura 2-2 Metodología Hidrológica - Hidráulica

Persiguen, respectivamente, la estimación de los caudales generados en una cuenca o corriente y el cálculo de las velocidades y calados con los que circularán por un determinado tramo fluvial. Los métodos hidrológicos pueden partir de los datos de caudales, aplicando análisis estadístico de los valores máximos; o de los datos de precipitación, mediante modelos hidrometeorológico de transformación precipitación-escorrentía basados en fórmulas y métodos como el racional, hidrograma unitario. Los métodos hidráulicos parten de diferentes hipótesis, simplificaciones o aproximaciones al flujo del agua en la Naturaleza (unifásico-bifásico, uni-bi-tridimensional, uniforme-variado, permanente-variable, lamina

turbulento, lento-rápido) que simplifican las ecuaciones físicas que lo modelizan (Figura 2-1), cuya resolución permite estimar diferentes parámetros (profundidad, velocidad, energía).

Nuestro estudio se basara principalmente en un estudio hidrológico e hidráulico

2.3.1 Métodos Hidrológicos

El análisis estadístico de series de caudales es la fuente de datos más fiable que podemos utilizar en un estudio hidrológico, pero desgraciadamente las estaciones de aforos son escasas y la longitud de la muestra suele ser corta. Es por ello que habitualmente los caudales son estimados a partir de series de datos de precipitación máxima en 24 horas, más numerosos que los datos de aforos. Este método de análisis, denominado método hidrometeorológico, se realiza mediante el desarrollo de varios modelos: el modelo meteorológico, el modelo de cuenca y el modelo de infiltración.

Sí consideramos que una crecida o avenida fluvial es un episodio con caudales anormalmente altos que registra un punto o tramo de la corriente, en su análisis será básica la caracterización temporal de esos caudales anómalos, esto es, la definición del hidrograma de crecida correspondiente a dicho evento, Dentro de este hidrograma pueden estudiarse sus elementos (pico de flujo y curvas de ascenso, descenso y agotamiento), componentes (escorrentía superficial, directa, subsuperficial y caudal base) o tiempos característicos, en relación con el hietograma correspondiente y asignarle una probabilidad de ocurrencia.

Existen diversas metodologías para el estudio hidrológico de las crecidas, que abarcan desde la caracterización completa del hidrograma hasta la determinación de tan sólo alguno de sus parámetros, como el caudal punta o pico de flujo. Por el objetivo del estudio se pueden diferenciar dos grandes conjuntos de métodos: aquéllos que pretenden analizar una avenida previa o pasada empleando el propio registro directo de caudales; y aquéllos que aspiran a estimar caudales de crecidas futuras o situaciones hipotéticas (avenida de diseño) a partir de datos indirectos de crecidas pasadas (marcas o consecuencias geológico geomorfológicas), o del análisis de datos de precipitación y/o caudal registrados en otras crecidas.

Los denominados métodos directos persiguen la caracterización de un hidrograma de crecida real que ha sido registrado en una estación de aforos mediante el empleo de un limnómetro y su conversión con una curva de gastos o calibración (rating curve), o mediante una secuencia seriada de medidas instantáneas de

caudales (áreas de las secciones multiplicado por velocidades). Para ello pueden emplearse los hidrogramas archivados en los organismos de cuenca (unidades de aforos de las confederaciones hidrográficas y agencias autonómicas del agua) o los datos hidrológicos custodiados por el CEDEX, como la base de datos HIDRO (Quintas, 1996), con sus tablas (principalmente HIDROGR) y programas asociados.

A partir del hidrograma se puede realizar un exhaustivo análisis de sus elementos y componentes según diversas metodologías (Custodio y Llamas, 1983; Chow et al, 1994); línea recta, curva de abatimiento normal, máxima curvatura, Linsley y Barnes; igualmente se obtendrán los tiempos característicos del hidrograma o los resultantes de su correlación con el hietograma.

Respecto a los métodos indirectos, en opinión de Llanos et al. (1995) existen dos tendencias en el estudio hidrológico de las crecidas: una determinista que preconiza el pasado como condicionante del comportamiento presente y futuro, abordando su estudio mediante leyes físicas y relaciones matemáticas; y otra estocástica, que parte del carácter aleatorio del proceso, y propone la aplicación de leyes o funciones analíticas a un conjunto de observaciones previas para predecir futuros valores de la variable. La primera, de carácter determinista, utiliza técnicas empíricas e incluye también metodologías históricas y geológico-geomorfológicas a partir de evidencias físicas de inundaciones pasadas.

Las técnicas empíricas engloban, en primer lugar, un conjunto de fórmulas empíricas que relacionan los caudales punta de crecida que pueden registrarse en una corriente, con el área de la cuenca drenante hasta ella, o con la ratio entre su área y la de otra cuenca vecina de caudales conocidos. Entre ellas destacan las conocidas fórmulas de Zapata, Fuller y Heras (1970b), que proponen una proporcionalidad directa entre los caudales y las áreas de dos cuencas contiguas, en una de las cuales se conocen los caudales punta por otras técnicas; en ocasiones estas fórmulas han dado lugar a ábacos para cuencas completas o determinados sectores de las mismas. También fórmulas y regresiones más elaboradas basadas en análisis multivariante de parámetros morfométricos de las cuencas (Potenciano, 2004 y 2008), cuyo uso está muy difundido en los EE.UU. como primera aproximación a la estimación de caudales (apartado 2.2.1). Estas fórmulas encierran cuestionados modelos de tipo 'caja negra', al prescindir del conocimiento de los procesos hidrológicos internos en la cuenca, por lo que su utilización está muy restringida a cuencas particulares, donde han sido contrastadas. Las técnicas estadísticas o estocásticas, a su vez, agrupan tanto los métodos hidrometeorológicos, como el análisis estadístico de caudales.

2.3.2 Métodos Hidráulicos

FLUJO UNIDIMENSIONAL

Los procesos fluviales son debidos a la energía de una masa de agua desplazándose por gravedad sobre conductos abiertos, el rozamiento con el lecho y la carga de material transportado.

Se puede simplificar el flujo del agua en una corriente fluvial como unidimensional, es decir, la profundidad y velocidad sólo varían en la dirección longitudinal del canal, cuyo eje se supone aproximadamente una línea recta, y la velocidad es constante en cualquier punto de una sección transversal. Los tipos de flujo en el conducto pueden clasificarse en base a consideraciones cinemáticas o estructurales.

a) Respecto al espacio (fijando el tiempo)

- flujo uniforme, la velocidad no varía en el espacio.
- Flujo variado, la velocidad cambia en el espacio.

b) Respecto al tiempo (fijando el espacio)

- Flujo estacionario o permanente, la velocidad no varía en el tiempo.
- Flujo variable, la velocidad cambia en el tiempo.

La clasificación estructural considera la importancia relativa entre fuerzas de inercia, viscosidad y gravedad, según la conservación en la cantidad de movimiento.

Flujo laminar $R_t < 20.000$

Flujo transicional $20.000 < R_{,,} < 30.000$

Flujo turbulento $R_{,,} > 30.000$

Régimen uniforme y permanente: ecuación de Manning El flujo uniforme tiene lugar cuando la pendiente del lecho (S) es igual a la pendiente de fricción (S). En general, se sobrentiende que además el flujo es permanente, con lo cual la línea de energía, la superficie de la lámina de agua y la solera son líneas paralelas.

La más conocida y profusamente utilizada es la ecuación de Manning, o mejor dicho de Manning-Strickler, que relaciona la velocidad con parámetros morfométricos y con un índice de rugosidad tabulado para los distintos materiales del lecho:

Régimen gradualmente variado y permanente Si mantenemos la hipótesis metodológica de un flujo permanente pero con una variación paulatina de la velocidad en el espacio, y por tanto del calado al no modificarse el caudal, el régimen recibe el nombre de gradualmente variado. Los perfiles pueden analizarse considerando régimen supercrítico y subcrítico.

En esta resolución se cuenta con herramientas informáticas como el programa de aplicación HEC-2 (Water Surface Profiles), desarrollado por B.S. Eichert en el Hydrologic Engineering Center (USACE, 1982b), que además ofrece una serie de posibilidades opcionales como el cálculo simultáneo de varios perfiles, afluentes, bifurcaciones, etc. Una versión actualizada y ampliada de este programa, disponible para entorno Windows, es la aplicación HEC-RAS (River Analysis System; USACE), que puede manejar una red completa de canales, un sistema dendrítico, o una localización singular en un río; es capaz de modelizar perfiles en régimen subcrítico, supercrítico o mixto.

Para el desarrollo del método hidráulico requiere una topografía de muy alto detalle. La calidad de los resultados será, por tanto, directamente proporcional a la precisión de estos datos de partida. Esto es la principal limitación del método y que hace muy difícil su aplicación en estudios regionales. A partir de él se construyen los modelos digitales del relieve en formato TIN (red irregular de triángulos) mediante el software HEC-GeoRAS (USACE, 2002a) para Arcview 3.2.

2.4 Métodos Hidrometeorológicos

Como su propio nombre indica, estos métodos se basan en funciones de conversión de variables meteorológicas (fundamentalmente precipitación) a escorrentía superficial (caudales) que se apoyan en modelos determinísticos. Con el empleo de datos meteorológicos se pretende utilizar la mayor cantidad de puntos de muestreo (estaciones), representatividad y longitud de las series pluviométrías frente a las series foronómicas. Los modelos que simulan el proceso precipitación-escorrentía pueden ser de varios tipos (Ferrer, 1993).

- Continuos, que presentan un balance continuo de humedad a lo largo de un periodo prolongado de tiempo, incluyendo periodos de crecida y ordinarios (MIKE-SHE, HSPF, SIMPA).

- Discretos, que simulan un único evento en el que sólo se considera la parte de precipitación que provoca escorrentía superficial, y por lo tanto son especialmente útiles en crecidas lluviales de diseño. Los más habituales son el método racional, el hidrograma unitario y la avenida máxima probable (PMF).

2.4.1 Método Racional

Este método se basa en la transformación de una precipitación con intensidad (que empieza en forma instantánea y continúa de forma indefinida) a una escorrentía que continuará hasta que se alcance el tiempo de concentración (t_c), momento en el cual toda la cuenca está contribuyendo al flujo. En ese momento de equilibrio entre entradas y salidas se alcanzará el caudal punta (Q) en el emisario de la cuenca; el volumen entrante al sistema será el producto de la intensidad de precipitación por el área de la misma (A), y se ve reducido por un coeficiente de escorrentía (C , entre 0 y 1) que representa la proporción de agua retenida en las abstracciones iniciales (Intercepción, encharcamiento, infiltración, evapotranspiración). Las unidades de las variables se expresan en el sistema norteamericano, por lo que su conversión al Sistema Internacional (Q , m^3/s ; y , mm/h ; A , km^2) precisa dividir el producto entre 3 y 6 resultando como fórmula general.

2.4.2 Hidrograma Unitario

Con la finalidad de modelar los hidrogramas se han ideado las formulaciones matemáticas que, con una base en el fenómeno físico que abordan, permiten obtener hidrogramas sintéticos. Normalmente sólo pretenden calcular la componente despreciando la magnitud de la caudal base durante la crecida.

El método más utilizado parte del concepto de hidrograma unitario (Sherman, 1932), escorrentía superficial resultante de una lluvia neta de 1 mm repartida uniformemente sobre dicha cuenca y con una distribución constante a lo largo de un determinado intervalo tiempo (D). Consiste en obtener un hidrograma tipo para cada cuenca conociendo este hidrograma elemental generado para una tormenta corta (de duración entre $1/3$ y $1/5$ de y , y a partir de él adaptarlo a cualquier evento de precipitación por descomposición de éste en intervalos de duración tiempo base, lluvias de la misma duración producen hidrogramas con idéntico tiempo base; afinidad o proporcionalidad, entre las intensidades de precipitación y los caudales de los hidrogramas; y aditividad o superposición, varios hidrogramas elementales generan uno resultante suma de todos ellos (Figura 2-3).

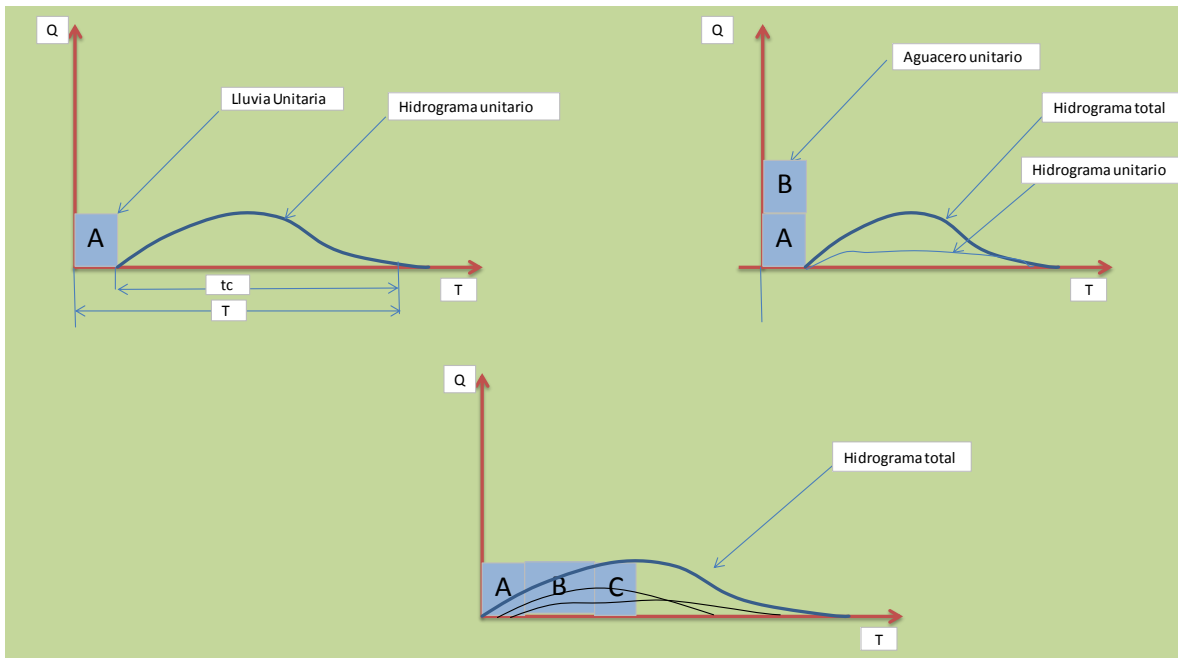


Figura 2-3 Representación de los principios del hidrograma unitario

Para la obtención del hidrograma unitario directamente de registros de hidrogramas e hidrogramas de varios epitormentosos, basta dividir los caudales de la componente superficial por los mm de D, Lo normal es no disponer de datos reales, por lo que existe toda una formula necesarios en un hidrograma sintético, siendo las más habitúa

- Hidrograma unitario adimensional del S.C.S. (1972), basado en un hidrograma adimensional obtenido del análisis de pequeñas cuencas rurales; precisa como único parámetro el tiempo de desfase de la punta, a par de punta y el caudal punta.
- Hidrograma unitario instantáneo de Clark (HUÍ; Clark, 1945), resultante del reparto uniforme de una unidad de lluvia sobre una cuenca a lo largo de un tiempo infinitamente pequeño; ello Implica la evaluación de sumatorios pero con variables continuas, o sea integración definida entre 0 y t. Su utilización se basa en la hide una traslación del volumen neto precipitado y de una laminación por almacenamiento en la cuenca (mediante un hipotético embalse lineal).

3.- SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

3.1 Definición de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Existen diversas definiciones de un SIG, dependiendo de qué punto de vista lo vea el autor, algunas muy similares y simples y otras más complejas, sin embargo en general un Sistema de Información consiste en la unión de información y herramientas informáticas (programas) para su análisis con unos objetivos concretos. En el caso de los SIG se asume que la información incluye su posición en el espacio.

La base de un Sistema de Información Geográfica es, por tanto, una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables (formato raster, ver Figura 3-2), o bien capas que representan objetos (formato vectorial, ver Figura 3-1) a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada. Esta estructura permite combinar, en un mismo sistema, información con orígenes y formatos muy diversos incrementando la complejidad del sistema.

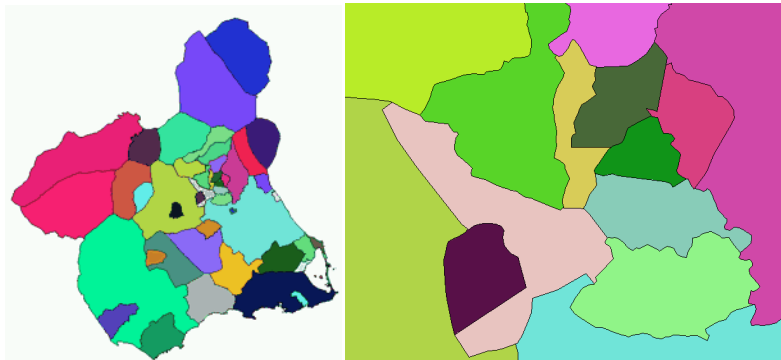


Figura 3-1 Modelo de datos vectorial.

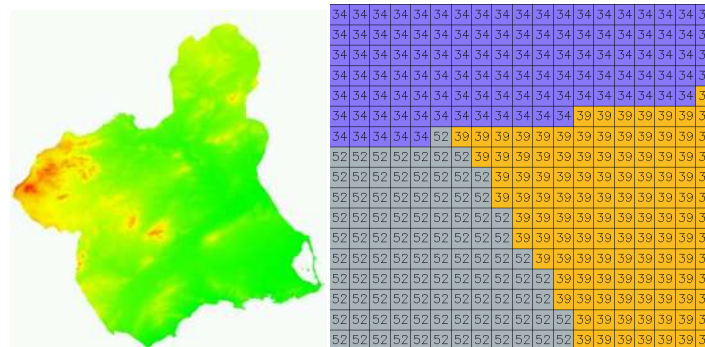


Figura 3-2 Modelo de datos raster.

Los Sistemas de Información Geográfica se han desarrollado además a partir de la unión de diversos tipos de aplicaciones informáticas: la cartografía automática tradicional, los sistemas de gestión de bases de datos, las herramientas de análisis digital de imágenes de satélite, los sistemas de ayuda a la toma de decisiones y las técnicas de modelización física. Por ello tienden a veces a ser considerados un subproducto de las facultades de informática para ser usados por informáticos.

Precisamente la fuerte carga teórica (teoría de ciencias de la tierra y ambientales) de los SIG los convierte en un auténtica pesadilla para los informáticos que acaban buscando SIG simples, blandos donde la flexibilidad (y por tanto las decisiones *científicas* que hay que tomar) a la hora de trabajar es mínima. Por otro lado, para un experto en estas materias (ciencias de la tierra y ambientales) resulta imprescindible, lógicamente, una formación informática sólida. Se ha llegado a considerar a los SIG como un enlace entre la Geografía y la Informática al igual que la Geomorfología enlazaría Geografía y Geología.

Una de las primeras percepciones que se tienen de un SIG son las salidas gráficas a todo color, impresas o en la pantalla de un ordenador. Conviene recordar sin embargo que hay una diferencia fundamental entre los programas de manejo de gráficos y los SIG. En los primeros, el objeto importante es la imagen que vemos, siendo de poca o nula importancia como se codifique, en un SIG la imagen es sólo una salida gráfica sin mayor importancia, lo relevante son los datos que se están representando.

De acuerdo a la literatura consultada se tienen las siguientes definiciones para un SIG:

1. La primera referencia al término SIG aparece en TOMLINSON (1967) referida a una aplicación informática cuyo objetivo era desarrollar un conjunto de tareas con información geográfica digitalizada. Se trataba del Sistema de Información Geográfica de Canadá (CGIS)
2. Para BERRY (1987) un Sistema de Información Geográfica es un sistema informático diseñado para el manejo, análisis y cartografía de información espacial.
3. Para BURROUGH (1988), se trata de un conjunto de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real para un conjunto particular de objetivos.

4. El National Center for Geographic Information and Analysis de USA los define como Sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión (NCGIA, 1990)

También un sistema de información geográfica (SIG) es un equipo que permite adquirir, almacenar, analizar y editar información espacial. Este equipo se estructura internamente con un sistema que gestiona bases de datos georeferenciados (Díez, 1999). Es precisamente la capacidad de integración de datos uno de los factores que convierten los SIG en una herramienta de gran potencia. Así pues, un SIG admite fuentes de datos tan diversas como mapas digitales y analógicos (a diversas escalas y proyecciones), modelos digitales de elevaciones (MDE), bases de datos alfanuméricas, fotografías aéreas, imágenes satélites o registros de GPS, tal como se aprecia en la figura 3. Esto supone, en la práctica, la posibilidad de integración de metodologías de disciplinas tan diversas como la geografía, la geología, la física o la historia, pero que resultan complementarias cuando se trata de elaborar mapas de riesgo de daños por inundación.

Las habilidades de los SIG permiten la creación de modelos hidrológicos e hidráulicos que tienen en cuenta variables como la topografía, la geología y los usos del suelo, entre otros. Esto significa que, dada una entrada pluviométrica (con una cantidad, intensidad y área afectada determinadas), se ofrecen los niveles de agua esperados en las cuencas durante y después de la precipitación (Nuhfer y otros, 1997). También permiten confeccionar bases de datos georeferenciadas para inundaciones históricas, entre otras aplicaciones (Díez y Pujadas, 2002). En este sentido, algunos ejemplos son los estudios de las áreas potencialmente inundables del sector oeste de la ciudad de Málaga en función de diversos registros pluviométricos (Conesa, 1996) o la simulación de la crecida del río Júcar en noviembre de 1987. La reproducción informática de la inundación permitió, entre otras cosas, conocer el efecto que determinadas actuaciones antrópicas tuvieron sobre el nivel de las aguas (Estrella, 1999)². La capacidad de integración de datos de los SIG facilita enormemente la combinación de las variables correspondiente al fenómeno físico con las variables referidas a la vulnerabilidad de los elementos estudiados, o sea, facilitan la elaboración del mapa de riesgo de daños por inundación.

Además, los SIG son un instrumento poderoso de procesamiento de imágenes satélite, las cuales pueden constituir otra entrada de información para la confección de mapas de riesgo de afectación y ofrecen, al mismo tiempo, la

posibilidad de poder generar infinidad de documentos cartográficos a partir de las múltiples combinaciones de datos adquiridas. Los SIG, pues, además de un instrumento de análisis, se convierten también en una herramienta flexible de edición de mapas, que, gracias a su elaboración en soporte digital, pueden ser fácilmente difundidos por Internet (Figura 3-3). Pero uno de los problemas de que adolecen los SIG es que las estructuras de datos que gestionan no contienen un representación explícita de la variable tiempo. Esta habilidad es necesaria para la modelización de sucesos dinámicos que, en todo caso, se pueden reproducir con la utilización de series temporales de datos incorporadas al modelo (Goodchild, 1993).

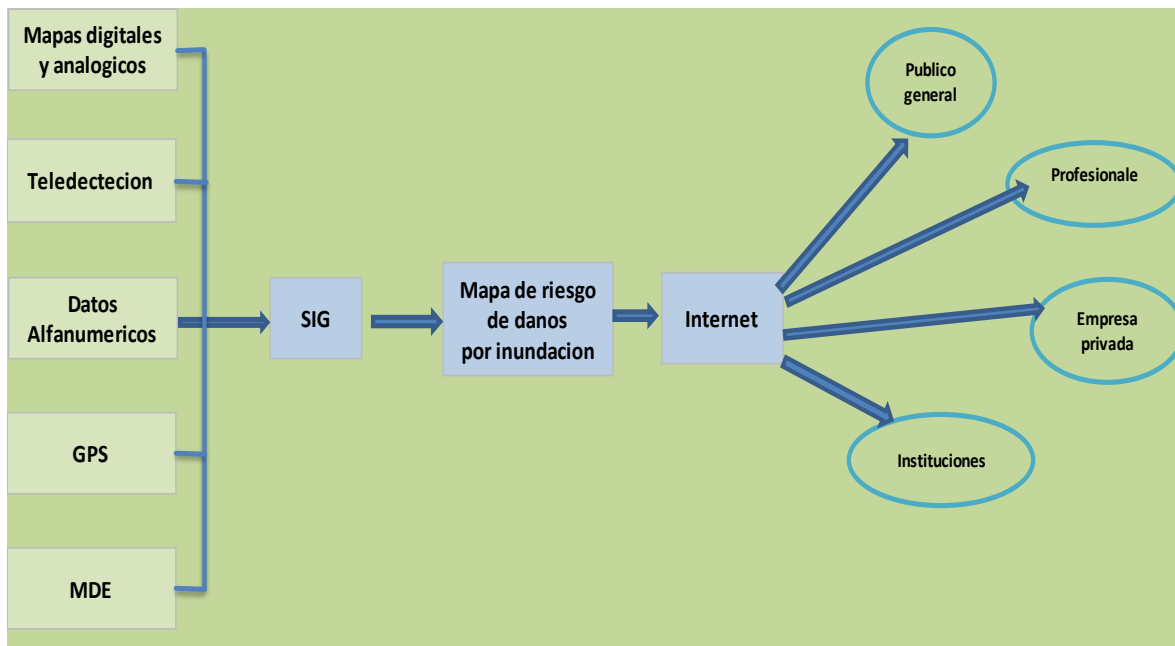


Figura 3-3 el papel integrador de los SIG

Como se puede ver estas definiciones son cada vez más complejas debido a los grandes avances tecnológicos y que cada vez se incorporan nuevos componentes a los paquetes de los SIG.

Actualmente, un Sistema de Información Geográfica o mejor conocido por su acrónimo como SIG, se define como, todo un sistema para la recolección, almacenamiento, análisis y despliegue de datos geográficos asistido por computadora. La base de datos espaciales es la parte central del sistema y está formada por una colección de mapas e información relacionada en formato digital (Eastman, 2004).

Existen en la actualidad una gran cantidad de paquetes de SIG disponibles en el mercado, con características diferentes cada uno de acuerdo al enfoque en que fue desarrollado, en el presente trabajo se vio la necesidad de trabajar con SIG para la preparación de los mapas que requiere el modelo para la creación de los mapas de riesgos de inundación, los cuales se listan a continuación:

I.- ArcView

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

ArcView es conocido como un SIG "desktop" o de escritorio, lo cual quiere decir que es una aplicación enfocada a usuarios finales y administradores de sistemas, los cuales no requieren de hacer complejos análisis y producir nueva información, sino consultar información que ya existe de una manera rápida y precisa en una interface amigable y accesible.

Cuenta con importantes características de funcionalidad tales como tener una arquitectura abierta que no se encuentra ligada a una plataforma específica de hardware. Puede ser ejecutado sin problemas en las diferentes plataformas comerciales disponibles en el mercado, tanto en PC bajo NT como en estación de trabajo bajo sistemas UNIX, sin perder funcionalidad, ya que cuenta con la misma interface y herramientas de trabajo en ambos entornos.

Cuenta con dos valores agregados primarios, un lenguaje de programación nativo denominado AVENUE el cual permite personalizar las funciones del programa y la interface de trabajo, así como un conjunto de extensiones especializadas que permiten al usuario realizar procesamientos más complejos de aquellos contenidos en el núcleo base, haciendo del entorno de ArcView una herramienta de visualización, consulta y análisis, poderosa, accesible y fácil de usar.

Las funciones de ArcView son similares a las de otros SIG, la diferencia es que está orientado a datos vectoriales (Figura 2-2), aunque también se puede trabajar con datos raster. A continuación se listan algunas de las funciones de ArcView:

a) Visualización

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

b) Generación de Productos Cartográficos

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

c) Consulta Grafica y Tabular

Cuenta con las opciones para visualizar tanto datos gráficos como tabulares de manera ligada por la estructura de datos topológicas, de tal manera que pueden realizar selecciones interactivas, utilizando una entidad gráfica (polígono, círculo o línea), una expresión lógica o condición, expresando estos resultados visualmente por medio de gráficas de pie, barras ó líneas para hacer análisis comparativos.

Así mismo, pueden realizarse clasificaciones mediante diferentes métodos en base a los atributos de los elementos de las diferentes capas de información para generar información temática. De esta forma una misma capa puede ser desplegada de diferentes maneras en base a sus atributos, por lo que es posible hacer comparaciones directas de la información e incluso graficaciones de la misma.

d) Análisis Espacial

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

e) Integración de Datos

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

II.- Idrisi

IDRISI es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de estructura raster desarrollado por la Escuela de Post-Grado en Geografía, de la Universidad de Clark, en Worcester, Massetusets, EE.UU. Es un SIG de bajo costo, de tipo no comercial y está diseñado para ofrecer herramientas profesionales y geográficas en el análisis espacial.

Este software nació bajo del nombre "The IDRISI Project" (IP) en el "Clark Laboratories for Cartographic Technology and Geographic Analysis" que pertenece a la Escuela de Post-grado en Geografía.

"The IDRISI Project" comenzó con financiamiento de UNEP/GRID (United Nations, Environmental Program/Global Research Information Database) y USAID (United States Agency for International Development). Aunque sigue manteniendo relaciones con ambos organismos, económicamente el IP está financiado solamente por las ventas propias de software.

La filosofía del IP originalmente fue ofrecer a los académicos y estudiantes de centros educativos, un SIG de bajo costo para aplicarlo en capacitación e investigación en el análisis espacial. El hecho que de ser parte de una universidad, el grupo de IDRISI trabaja en un plan más familiar y no tanto como una gran casa comercial, permitiendo un ambiente más accesible y amigable para los usuarios.

Desde su inicio en 1987, IDRISI ha evolucionado constantemente para convertirse en uno de los SIG's más utilizados a nivel mundial y con altas capacidades de análisis tanto para mapas, como imágenes de satélite, todo ello a nivel de

microcomputadoras. Este SIG puede ser ubicado en más de 120 países alrededor del mundo y sus aplicaciones son de las más variadas, entre ellas: planificación regional y local, manejo y conservación de los recursos naturales, etc.

A partir de 1995 el IP se dio a la tarea de fundar diversos Centros de Recursos a nivel mundial con el objetivo de establecer relaciones académicas cuyo objetivo es aplicar a Idrisi en sus diferentes actividades.

Estos centros están dedicados a la capacitación y divulgación del software de IDRISI a la comunidad académica y profesional. El más nuevo de estos centros, es el que ese fundó en el estado de México en la Universidad Autónoma de Toluca.

El autor principal del software es el Profesor en Geografía J. Ronald Eastman y con un equipo de aproximadamente 15 personas en programación, diseño gráfico, elaboración de manuales, arte, etc., sacaron la nueva versión para Windows (Versión 1.0) que salió en setiembre de 1995.

Actualmente, está disponible Idrisi Andes VERSION 15 y el CRI-CR es un facilitador para adquirir este software.

III.-Idrisi Andes

Tras dos décadas de desarrollo continuo IDRISI ofrece en la actualidad uno de los productos con mayor poder analítico en el ámbito del geoanálisis, especialmente en las áreas de toma de decisiones, gestión de la incertidumbre, procesamiento de imágenes y análisis de cambios y series temporales. Fruto de un importante esfuerzo investigador, IDRISI es una herramienta con un marcado carácter profesional, cuyo desarrollo se ha basado siempre en una filosofía sin ánimo de lucro. Quizás lo más destacable de este proyecto haya sido su carácter abierto y de intercambio de ideas, permitiendo el desarrollo de un producto fruto de las contribuciones de usuarios procedentes de un amplio abanico de disciplinas, lo que se evidencia en la última versión del programa.

IDRISI Andes es una solución software con SIG integrado y procesamiento de imágenes que ofrece más de 250 módulos para el análisis y presentación de información espacial digital. IDRISI ofrece el paquete más completo de herramientas GIS y de procesamiento de imágenes de la industria en un paquete único y asequible.

Herramientas para planificación de territorios, soporte para la toma de decisiones y análisis de riesgo son incluidas con poderosas herramientas de estadística

espacial, análisis de superficies y modelaje espacial. Con IDRISI, todas las necesidades estadísticas se vuelven simples no hay necesidad de comprar extensiones del programa para mejorar sus habilidades investigativas. La edición Andes, lanzada en abril del 2007, es la decimoquinta edición del software IDRISI desde 1987. IDRISI es utilizado por investigadores y profesionales de las industrias de más de 175 países del mundo.

a) Innovaciones en Idrisi Andes

Idrisi Andes ofrece de forma integrada las funciones de un SIG y de un software para el procesamiento de imágenes, pues contiene más de 250 módulos para el análisis y despliegue de información espacial digital.

Ofrece el más amplio grupo de herramientas SIG y de procesamiento de imágenes en un paquete accesible.

Incluye herramientas para el ordenamiento territorial, toma de decisiones y análisis de riesgo junto a funciones para estadísticas espaciales, análisis de superficie y modelado espacial, por lo que no es necesario comprar módulos adicionales.

Además, Idrisi Andes incluye mejoras en el despliegue de datos espaciales y la combinación de los mismos mediante el uso de transparencias.

b) Componentes de Idrisi Andes

- 1) **Sistema de gestión de archivos y visualización:** en el nuevo gestor de archivos se han unificado las tareas que se realizaban a través de cuatro módulos anteriores (Idrisi Explorer, MetaData, Data Paths y Collection Editor). Además se han incorporado mejoras en el módulo de visualización en 3D, generación de vuelos virtuales en 3D, modificación de las categorías de la leyenda, creación de transparencias, etc.
- 2) **Renovación del sistema de base de datos:** mayores posibilidades de intercambio con bases de datos externas y hojas de cálculo. Compatibilidad con la tecnología ADO de Microsoft.
- 3) **Clasificadores:** inclusión de nuevos módulos de clasificación de imágenes de satélite basados en redes neuronales, clasificadores “blandos”, etc. y mejora de los ya existentes.
- 4) **Módulo de evaluación de cambios de usos del suelo:** sin duda la gran novedad y aportación de esta nueva versión es la creación de un módulo completo para analizar y predecir cambios de usos del suelo y calcular las implicaciones que esos cambios puedan tener sobre los distintos hábitats y

sobre la biodiversidad. Se trata de la primera aplicación vertical desarrollada por Clark Labs y en Octubre de 2007 ha sido lanzado a la venta una versión de este módulo como extensión de ArcGis.

Como se ha mencionado, Idrisi tiene una variedad de funciones y aplicaciones lo que lo hace un software muy potente al igual que otros SIG y puede desarrollar un sinnúmero de tareas de acuerdo a las habilidades del usuario para manipularlo.

c) ¿Qué se Puede Hacer con Idrisi Andes?

- a) Explorar, predecir y modelar impactos en la cobertura del suelo a través del innovador Modelador del Cambio de Uso del Suelo (Land Change Modeler – LCM).
- b) Procesar imágenes de sensores remotos a través de un amplio grupo de técnicas de procesamiento que incluyen innovadores clasificadores suaves, redes neuronales y análisis de árboles de decisión.
- c) Utilizar herramientas para toma de decisiones y manejo de incertidumbre para localizar recursos y crear mapas de idoneidad.
- d) Comparar pares de imágenes y analizar tendencias y anomalías a partir de una serie de imágenes de periodos anteriores.
- e) Importar y exportar a una gran variedad de fuentes de información, incluyendo los más importantes formatos de vector e imágenes.

Al igual que muchos SIG, Idrisi es uno de los Sistemas de Información Geográfica más popular desde sus inicios y ha ido mejorando su estructura y funcionalidad de acuerdo a las necesidades de los usuarios y los constantes avances tecnológicos que van surgiendo. Lo más nuevo en la actualidad de este SIG es la nueva edición llamada Idrisi TAIGA la cual a la está en venta en los centros de recurso IDRISI de todo el mundo.

4.- MODELOS MATEMATICOS

4.1 Modelos Hidrológicos

El inicio de los modelos matemáticos con aplicación a la hidrología comienza con el desarrollo del Método Racional en el siglo XIX por Mulvany en 1858 con lo cual se le da apertura a un amplio campo del conocimiento que sin duda a tenido un amplio desarrollo en la actualidad. A principios del siglo XX Sherman (1932) estableció los conceptos básicos del hidrograma unitario, y la teoría de infiltración fue desarrollada por Horton (1933). Y a mediados del siglo XX Penman (1948) desarrolló su teoría sobre la evaporación y en la década de 1950 se aplicó la teoría de los sistemas lineales, lo cual culminó con la generalización de la teoría del hidrograma unitario, la cual ha sido muy utilizada hasta nuestros tiempos. La década de 1960 marca el inicio de la aplicación de los modelos en computadora con lo cual se hace posible desarrollar de una manera más compleja el modelado del ciclo hidrológico. Se considera que el primer modelo en simular varios componentes del ciclo hidrológico en una cuenca, fue el Stanford Watershed Model-SWM (Crawford y Linsley, 1966).

TIPOS DE MODELOS MATEMATICOS HIDROLOGICOS.

4.1.1 Modelos Deterministas: Describen el comportamiento del ciclo hidrológico en forma de expresiones analíticas que relacionan las interacciones físicas entre sus componentes.

Los tipos de modelos deterministas se definen según el grado de conocimiento que al modelar tenga de las leyes físicas que rigen el sistema estudiado.

Cuando este conocimiento es muy pequeño o incluso nulo se establecen variables de entrada hacen corresponder otros para las variables de salida. Las relaciones matemáticas se establecen por calibración sin que se conozca de qué forma pueden estar relacionadas las variables. Estos modelos reciben el nombre de modelos **empíricos o de caja negra.**(Figura 4-2)

Otro extremo del espectro es que en el que las leyes que rigen el comportamiento del sistema son perfectamente conocida, a estos se les denomina **deterministas puros, de cajas blancas o conceptuales.**

Sin embargo, en muchas ocasiones en hidrología no se pueden conocer con exactitud todas las componentes del sistema y sus interrelaciones aunque si una

buena parte de estas. (Llamas, 1993). Estos modelos se denominan **deterministas de caja gris**.

Además de estos tres tipos de modelos deterministas admiten una segunda clasificación según se atienda la variabilidad espacial de los parámetros y las variables (figura 4-2).

4.1.2 Modelos Estocásticos: También conocidos como series temporales, carecen de bases físicas, y expresan en términos de probabilidad el resultado de procesos altamente aleatorios (MARCO 1993).

4.1.3 Modelos Agregados: No se considera variabilidad espacial, son modelos con una sola celda. Los valores de los parámetros (evapotranspiración, infiltración, etc.) son valores medios para toda la cuenca. Por ello no necesitan la calibración de tantos parámetros.

4.1.4 Modelos Distribuidos: Se considera la variabilidad espacial de variables y de parámetros. Se realiza una discretización del medio físico a estudiar, esto es se divide la zona a estudiar en celdas con diferentes valores para variables y parámetros. Este tipo de modelos es más versátil y recoge mejor la heterogeneidad del medio natural. Necesita un aporte de datos mucho mayor y calibrar muchos parámetros de no ser así puede llevar a resultados alejados de la realidad.

4.1.5 Modelos Cuasidistribuidos: Aprovechan las ventajas de los anteriores, evitando sus inconvenientes. Un modelo cuasidistribuido daría así un alto nivel de precisión sin necesitar una entrada de datos tan grande.

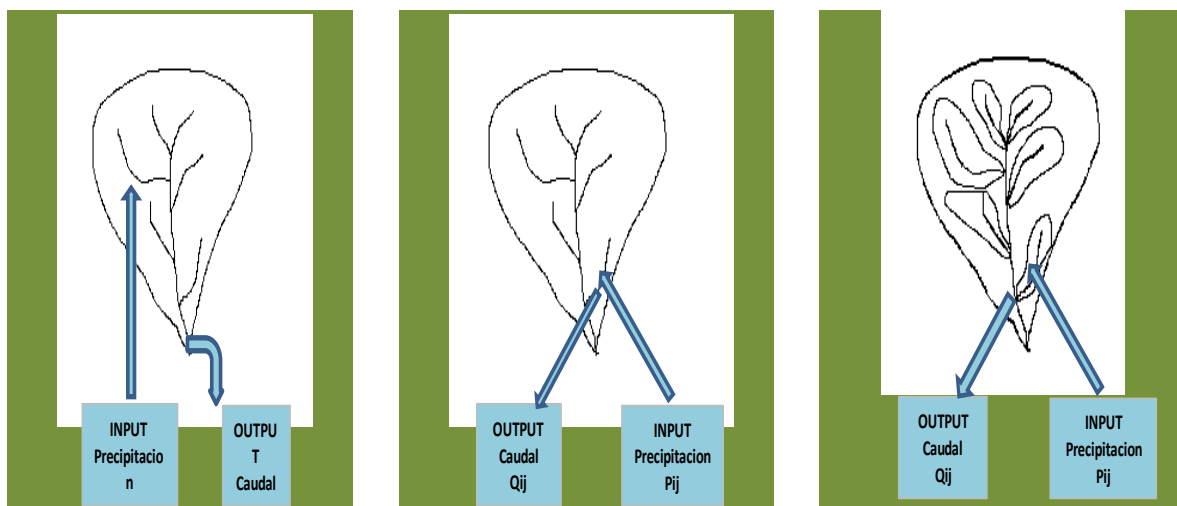


Figura 4-1 Modelos

En la figura 4-1 se muestra en la primer cuenca sin discretización, modelos agregados, los datos de entrada como de salida se refieren a la totalidad de la cuenca, en la parte central es un discretización según una determinada malla, modelos distribuidos, a cada celda se le asignan valores de variables y parámetros. Por último tenemos los modelos cuasidistribuidos que es lo que propone abordar el problema considerando subcuencas.

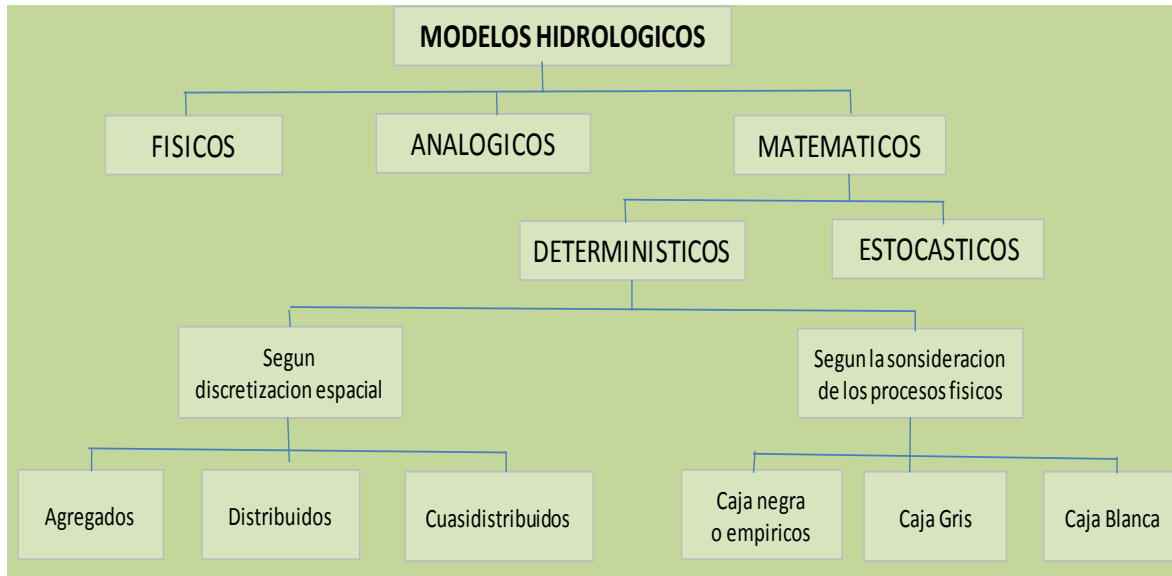


Figura 4-2 Modelos Hidrológicos.

4.2 Modelación Hidrológica

La modelación hidrológica consiste en utilizar un modelo matemático y adaptarlo para reproducir lo más cercano a la realidad el proceso de lluvia-escorrentía. Para llevar a cabo este proceso se necesita la mayor cantidad de información disponible de la cuenca, como son datos hidroclimatológicos disponibles, así como también datos fisiográficos de la cuenca.

Los problemas que se refieren a la hidrología, a menudo tienen su área de estudio en la parte de la superficie de la Tierra que está delimitada por la cuenca hidrográfica. La cuenca está formada básicamente por un curso de agua y sus tributarios, los análisis se efectúan en un punto que está ubicado sobre el curso de agua principal y la totalidad del área topográfica drena a través de ambos. Los componentes más importantes que intervienen en el estudio de las cuencas hidrográficas son: las características topográficas, la ocupación del suelo, las precipitaciones, la evapotranspiración y los flujos o caudales observados (Réménieras, 1999).

Los modelos hidrológicos, son utilizados para comprender la dinámica del ciclo hidrológico con respecto a los componentes climatológicos y la superficie terrestre (Singh y Woolhiser, 2002). Estos modelos se emplean para evaluar el recurso hídrico en una cuenca hidrográfica, además tienen una gran cantidad de usos, como por ejemplo, la planificación de explotación de acuíferos, comportamiento de los mantos acuíferos, evaluación del impacto en el caso de la sobreexplotación de acuíferos.

En la actualidad existen múltiples modelos hidrológicos, desde los más sencillos hasta los más complejos, capaces de reproducir hasta periodos de tiempo horarios, esto debido a los constantes avances tecnológicos de los últimos años, que cada vez ofrecen mejores herramientas de cómputo para facilitar los trabajos, y desde luego obtener los mejores resultados.

Los enfoques de los modelos hidrológicos son diferentes como por ejemplo: simulación de caudales, evaluación del cambio climático, variabilidad en el cambio de uso de suelo, análisis de calidad del agua, análisis del flujo subterráneo, y en otras áreas también tienen una gran aplicación, por ejemplo en Biología.

Algunos modelos hidrológicos comparten ciertas similitudes y otros son totalmente distintos en su estructura. Esto ha generado que los modelos se puedan clasificar de distintas formas, dependiendo de la estructura y enfoque que le haya dado el autor. Los modelos determinísticos por ejemplo, pueden ser clasificados de acuerdo con la forma en que consideran el área de la cuenca, esta puede ser de manera agregada (Abbot y Refsgaard, 1996). La descripción de los procesos hidrológicos se consideran empíricos, conceptuales o de base física. La mayoría de los modelos conceptuales son globales (agregados), y los modelos físicamente basados o de base física son modelos determinísticos. Los modelos empíricos son considerados como modelos de caja negra, los modelos agregados conceptuales como de caja gris y los modelos distribuidos de base física se consideran de caja blanca (Figura 4-2). Los modelos distribuidos realizan una descripción de los procesos que se llevan a cabo, mediante la discretización de la cuenca en una malla de cuadros.

Las distinciones que frecuentemente se hacen entre los distintos tipos de modelos existentes pueden llevarse desde muchos puntos de vista, existiendo clasificaciones, generalmente de tipo dicotómico, según que aspecto del propio modelo sea el que se tiene en cuenta a la hora de clasificar. Para los objetivos de este libro, y considerando que presentan un mayor interés de cara a su aplicación directa son divisiones que permiten separar modelos cuya formulación computacional se presta a una implementación práctica distinta, así como por

motivos netamente didácticos, se considerarán los siguientes criterios. (*Hidrología Computacional y Modelos Digitales del Terreno. Víctor Olaya Ferrero*)

a).- Modelos de suceso y modelos continuos.

b).- Modelos agregados y modelos distribuidos.

c).- Modelos físicos y conceptuales.

d).- Modelos según su objetivo.

a).- Modelos de Suceso y Modelos Continuos

Una primera división conceptual es la basada en el periodo de tiempo considerado como objeto de la modelización. Mientras que los modelos de suceso calculan los parámetros especialmente hidrogramas asociados a un lluvia concreta con una duración relativamente reducida (horas o días), los continuos están principalmente dirigidos al estudio del régimen hidrológico sobre un intervalo de tiempo de magnitud muy superior al de los anteriores, debiendo incorporarse en la modelización ciertos elementos y procesos que pueden ser despreciados en los modelos de suceso.

En general, los modelos de suceso suelen situarse dentro de los denominados de proyecto, utilizados, entre otras cosas, para el dimensionamiento de obras o el análisis de la extensión de las zonas inundables. Por su parte, los modelos continuos se sitúan más cerca de los conocidos como modelos predictivos, más enfocados hacia la estimación a corto y medio plazo a partir de datos observados, pudiendo incluir asimismo predicciones meteorológicas como datos de entrada.

b).- Modelos Agregados y Modelos Distribuidos

Los modelos agregados consideran las cuencas y subcuencas como unidades de trabajo, mientras que en los distribuidos las unidades, además de tener generalmente menor tamaño y estar definidas de forma regular, no tienen un significado hidrológico tan definido ni representan elementos hidrográficos concretos.

La estructura de los MDTs y mallas de datos adicionales, así como de las imágenes aéreas o procedentes de sensores remotos, todas ellas ya divididas en unidades mínimas (celdas o píxeles), hace que resulte natural el emplear estas mismas unidades también como unidades hidrológicas, existiendo por tanto una tendencia natural a plantear sobre dicha estructura modelos de tipo distribuido.

Por ello, y como se ha dicho ya anteriormente, será en estos en los que se base prioritariamente este texto, quedando, no obstante, ampliamente representadas las soluciones que, en relación con modelos agregados, pueden derivarse del análisis computacional del terreno y otros factores implicados.

Lejos de no aprovechar las ventajas que de este análisis puede obtenerse, los modelos agregados también se surten abundantemente de las mismas, haciéndolo además mediante una adaptación sencilla y manteniendo así su vigencia y validez con una mejora notable en sus prestaciones en cuanto a precisión y fiabilidad. Es por ello que, si bien es probable que la base expositiva se incline más hacia los modelos distribuidos — al menos conceptualmente serán abundantes los contenidos acerca de modelos agregados, concediéndose en este sentido igual importancia a ambos planteamientos.

Desde un punto de vista teórico es interesante hacer notar que los modelos distribuidos, al apoyarse en una división sistemática del terreno en celdas cuadradas en este caso emplean como unidades mínimas unos elementos sin ninguna significación hidrológica. Los de tipo conceptual, sin embargo, y aunque el apoyo sobre la malla del MDT permita alcanzar una resolución muy elevada y trabajar con unidades pequeñas, se fundamentan siempre en elementos con significado hidrológico, por lo que en su aspecto conceptual se presentan, al menos a primera vista, con un interés adicional a este respecto (Giménez Fernández, J.C, comunicación personal)

c).- Modelos Físicos y Conceptuales

Otra clasificación de modelos que ha visto potenciada la presencia y empleo de uno de sus representantes con la introducción de nuevas técnicas basadas en elementos de cartografía digital y en el tratamiento computacional de los mismos, es la que hace referencia a las bases teóricas en las que se fundamentan dichos modelos.

Los modelos denominados físicos se basan en el empleo directo de las expresiones matemáticas que, para cada fenómeno concreto, se encuentran definidas y son de aplicación habitual tanto desde el punto de vista práctico como en el desarrollo teórico de otros planteamientos.

La utilización de este enfoque implica el trabajo con una gran cantidad de datos y el proceso de todo ese volumen de información de acuerdo con las diversas fórmulas matemáticas utilizadas, circunstancia que, sin duda alguna, se ha visto favorecida por la utilización de medios informáticos en la implementación y el uso

práctico de estos modelos. Junto a esto, la imposibilidad conceptual de generalizar algunas de estas formulaciones teóricas para elementos de tal magnitud como cuencas o subcuencas ha hecho que el escenario dispuesto por los modelos distribuidos sea altamente más compatible con la idea de un modelo físico, por lo que son estos modelos de base física y de tipo distribuido los grandes beneficiarios de este nuevo entorno de trabajo y, por tanto, con una presencia muy importante dentro de esta obra.

Por su parte, los modelos conceptuales generalmente se presentan como simplificaciones de más sencilla aplicación con respecto a los modelos físicos, basándose en una formulación de tipo experimental convenientemente contrastada. Al igual que sucedía con los modelos agregados, también éstos, pese a la buena disposición de sus opuestos los modelos de base física, aprovechan en gran medida los resultados derivados del análisis de MDTs y similares.

Para ello, pueden sin dificultad integrarse de modo sumamente ventajoso con los modelos de tipo distribuido, al mismo tiempo que, si se conjugan con enfoques de tipo agregado, algunos de sus conceptos básicos pueden ser mejorados o redefinidos de acuerdo con los resultados de los que se dispone sobre la base del tratamiento computacional de datos base que ya fue presentado.

d).- Modelos Según su Objetivo

Aunque no es una clasificación al uso como las anteriores, es interesante separar los distintos modelos en función de qué se persigue con su aplicación. Existiendo modelos que trabajan con un gran número de variables finales en sus resultados, así como otros de carácter más específico, puede con sencillez establecerse una distinción en función de cual de dichas variables finales que da modelizada en mejor forma en cada uno de ellos, constituyendo así la verdadera utilidad del mismo. Más allá de lo anterior, el interés que puede tener dentro de este texto se debe a que esta capacidad principal de cada modelo es quien va a condicionar en gran medida la formulación conceptual de este.

En particular, se van a considerar aquí los que se enfocan principalmente hacia la estimación de caudales bien de tipo medio o extremos de carácter puntual, así como al estudio de fenómenos erosivos tanto desde un punto de vista puramente cuantitativo como desde el aspecto cualitativo, más interesante este último para el manejo y gestión de cuencas vertientes, la restauración hidrológica y otras actividades similares.

Otras finalidades, tales como el estudio de la calidad de las aguas o el movimiento de nutrientes, o la evaluación de los recursos hídricos globales, no se tratan en profundidad, centrándose la exposición sobre los anteriormente mencionados. Como puede verse, el énfasis principal se sitúa sobre los procesos de tipo físico y relacionados con el flujo superficial, en detrimento de otros como, por ejemplo, aquellos que se fundamenten en mayor medida en el estudio de la hidrología subterránea, aspecto también algo tratado en estas páginas, aunque muy lejos de la extensión que, por su complejidad, podría recibir en otro tipo de textos.

El interés por los modelos de tipo físico ya fue justificado algunas líneas atrás, puesto que, al verse su aplicación facilitada por el empleo de cartografía digital y el tratamiento sobre un entorno informático, resulta pertinente centrarse sobre este tipo de modelos, con objeto de sacar el máximo partido a todo lo ya desarrollado, incorporándolo de manera ventajosa en este tipo de modelos una vez estos han sido tratados con la suficiente extensión.

4.3. Apoyo en la Cartografía Digital

Las diferentes necesidades que deben afrontarse para el empleo de uno u otro tipo de modelo hidrológico hace que, considerando la totalidad o una gran parte de datos como provenientes de fuentes cartográficas, el uso de dicha cartografía no se dé en la misma medida en todos los tipos de modelos a estudiar. Por ello, resulta adecuado en este capítulo de introducción de fundamentos básicos el presentar de manera esquemática el modo en que cada tipo de modelo se apoya sobre los distintos elementos cartográficos que componen el abanico de datos de los que se dispone, y entre los cuales sobresale en el contexto de este libro el Modelo Digital del Terreno y todas las mallas de datos que del mismo derivan.

Asimismo, gran parte de variables no se presentan en formato cartográfico pero derivan de alguna malla de datos muy especialmente del MDT, existiendo también diversidad en cuanto a la utilización de éstas variables y la forma en que deben considerarse como parte de los modelos hidrológicos empleados.

En posteriores capítulos, cada uno de los elementos a utilizar y en especial cada una de las mallas de datos con las que se trabaja en el conjunto global de modelos será detallada a diferentes niveles, debiendo considerarse entonces la incorporación del mismo bajo unas u otras circunstancias, en función del tipo de modelo a utilizar y los aspectos que a continuación serán indicados en relación cada una de las clasificaciones ya conocidas.

Con carácter general, la vinculación que pueda existir entre un tipo de modelo y las diferentes mallas de datos disponibles no debe verse únicamente como una necesidad cuantitativa de número de parámetros distintos requeridos por el modelo, sino como un indicador cualitativo que indica el tipo de relación que se establece entre dicho modelo y el conjunto de mallas de datos o, visto de otro modo, la forma en que cada modelo saca partido a las capacidades de dichas mallas y cómo esto puede aplicarse ante una posible implementación del modelo dentro de una aplicación de tipo SIG.

Como veremos progresivamente desde este punto en adelante, y a medida que aumentemos el detalle del análisis asociado a cada factor, la comprensión de este uso distinto de elementos es la que define el verdadero núcleo de ideas que permite la implementación de cada formulación y la articulación de las mismas en modelos completos y consistentes.

Para el caso particular del MDT y el empleo del mismo, se apuntan seguidamente algunas breves ideas de acuerdo con los tipos de modelos ya conocidos.

Según el artículo emitido por la sección de teledetección y SIG, instituto de desarrollo regional de la Universidad de Castilla Mancha. Maneja que los modelos son una representación simplificada de la realidad manipulable para mejorar la visión que de esta se tiene. Además de los modelos matemáticos existen los modelos físicos y analógicos. Los físicos son representaciones a escala del prototipo (realidad) manteniendo las reglas de la semejanza. Los analógicos, ya en desuso, se basan en el parecido entre las ecuaciones que rigen dos sistemas distintos.

La mayoría de los modelos matemáticos, y de ahí su gran desarrollo reciente, usan como soporte el ordenador, además de que tienden a crear credibilidad por si mismos.

5.- CUENCAS DEL POBLADO DE LA PIEDAD (HIDROLOGIA Y FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO)

5.1 Conceptos Fundamentales

Hidrología. La Hidrología (del griego *hydor-* agua) es la disciplina científica dedicada al estudio de las aguas de la Tierra, incluyendo su presencia, distribución y circulación a través del ciclo hidrológico, y las interacciones con los seres vivos. También trata de las propiedades químicas y físicas del agua en todas sus fases (figura 5-1).

El objetivo primario de la hidrología es el estudio de las interrelaciones entre el agua y su ambiente. Ya que la hidrología se interesa principalmente en el agua localizada cerca de la superficie del suelo, se interesa particularmente en aquellos componentes del ciclo hidrológico que se presentan esto es, precipitación, evapotranspiración, escorrentía y agua en el suelo.

En la actualidad la Hidrología tiene un papel muy importante en el Planeamiento del uso de los Recursos Hidráulicos, y ha llegado a convertirse en parte fundamental de los proyectos de ingeniería que tienen que ver con suministro de agua, disposición de aguas servidas, drenaje, protección contra la acción de ríos y recreación. De otro lado, la integración de la Hidrología con la Ingeniería de Sistemas ha conducido al uso imprescindible del computador en el procesamiento de información existente y en la simulación de ocurrencia de eventos futuros.

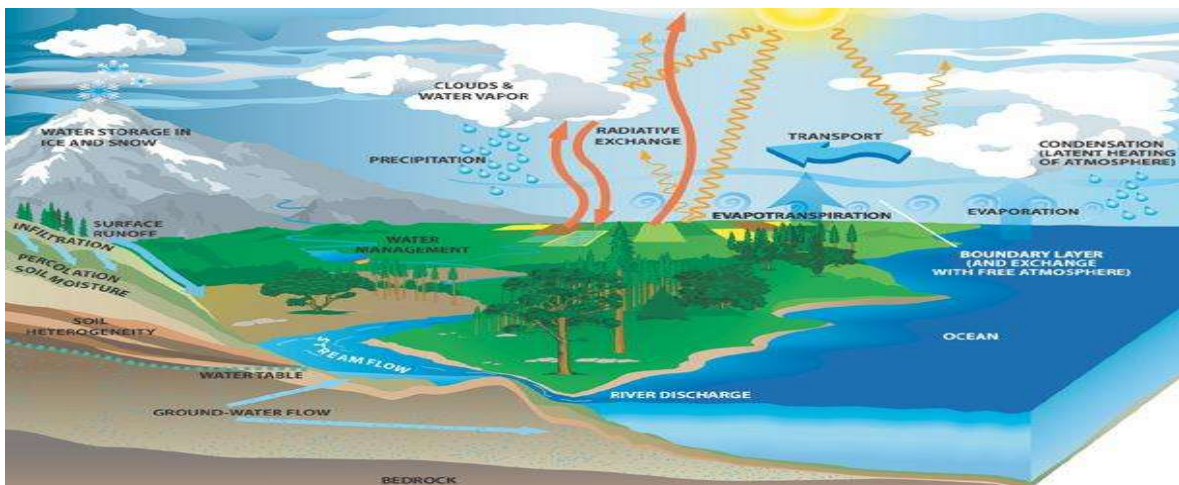


Figura 5-1 Ciclo Hidrológico

Una cuenca hidrológica. Es la zona de la superficie terrestre en la cual, todas las gotas de agua procedentes de una precipitación que caen sobre ella se van a

dirigir hacia el mismo punto de salida (punto que generalmente es el de menor cota de la cuenca).

La cuenca hidrológica está delimitada por una línea que se denomina divisoria. Para abordar un estudio hidrológico, el primer paso será aprender a trazar dicha divisoria.

a). Tipos de Cuencas

Existen tres tipos de cuencas: (*Aparicio Fundamentos de Hidrología Superficial*)

1. Exorreicas: drenan sus aguas al mar o al océano.
2. Endorreicas: desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación salida fluvial al mar.
3. Arreicas: las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje.

b). Características de las Cuencas

Parte alta. Es la zona de mayor importancia, debido a que es el área de captación y suministro de agua de lluvia hacia la parte baja de la cuenca. Es el lugar donde se originan manantiales, arroyos y ríos. **Parte baja.** Es la zona de descarga de agua, de almacenamiento y aprovechamiento por las poblaciones, donde se realizan actividades agrícolas y pecuarias debido a la moderada inclinación de los terrenos, mayor profundidad de los suelos y humedad captada de la parte alta de la cuenca.

Forma. En las cuencas de forma alargada los escurrimientos superficiales fluyen lentamente en comparación con las cuencas redondas en donde el flujo del agua es más rápido.

Tamaño. A medida que las cuencas incrementan su tamaño tienen mas capacidad de captar agua y disponer de mayores volúmenes de escurrimientos.

c). Características Morfológicas de las Cuencas

Las características físicas tienen gran importancia en el comportamiento hidrológico de la cuenca. Se utilizan con el objeto de establecer relaciones y comparaciones numéricas con datos hidrológicos conocidos, los cuales se pueden determinar una vez trazada en una carta topográfica, las cuales son: **Parteaguas, área de las cuencas, orden de la red de drenaje, longitud del cauce principal y pendiente del cauce principal.**

Sus definiciones se irán desarrollando conforme se valla realizando el estudio Hidrológico.

5.2 Objetivo

La determinación del gasto máximo de escurrimiento pluvial para el desarrollo de mapas de inundación ha tenido en consideración la topografía del terreno así como las máximas avenidas que puedan ocurrir durante un acontecimiento pluvial.

5.2.1 Antecedentes

5.2.1.1 Localización Política y Geográfica

La Piedad Tiene una extensión territorial de 271 km². La cabecera de la ciudad de La Piedad se encuentra en la margen izquierda del río Lerma, y está situada a una altitud de 1,675 msnm. Tiene una temperatura media anual de 17 °C, por lo que su clima es templado, con veranos calurosos y lluvias permanentes de junio a septiembre y una estación invernal no bien definida.

La Piedad, puerta norte del estado de Michoacán, rodeando las riberas del río Grande o Lerma, limita al noroeste con los municipios de Degollado y Ayotlan Jalisco. Al norte se encuentra la delegación urbana de Santa Ana Pacueco perteneciente a la ciudad de Pénjamo, Guanajuato. Al oriente limita con el municipio de Numarán. Al sur limita con los municipios de Zináparo, Churintzio y Ecuandureo, y al occidente con el municipio de Yurécuaro. Su distancia a la capital del Estado es de 183 kms (Figura 5-2).

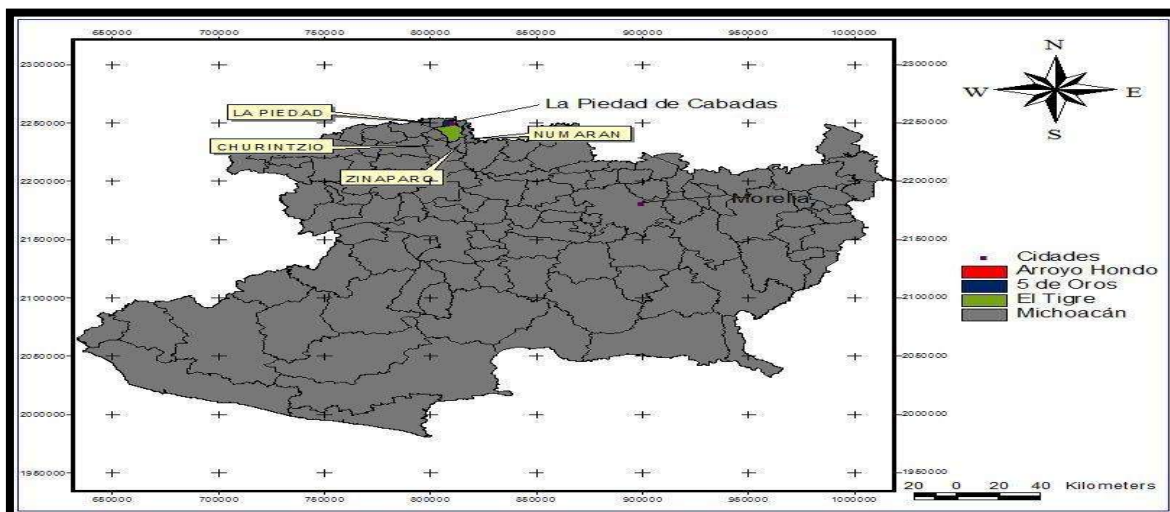


Figura 5-2 Mapa de Localización de la Piedad Michoacán.

En el siglo pasado la ciudad sufrió de fuertes inundaciones por el desborde del río Lerma, que tuvieron lugar en 1906, en 1912 y más tarde en 1954, 1958 y sobre todo en 1973.

5.2.1.2 Condiciones Naturales de la Cuenca

a).- Geología

Los suelos del municipio datan de los periodos cenozoico, terciario inferior y mioceno; corresponden principalmente a los del tipo chernozem. (INEGI)

5.3 Información Disponible

5.3.1 Climatología

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). Obteniendo las siguientes estaciones. (Tabla 5-1).

CLAVE ESTACIÓN	NOMBRE	UBICACIÓN		ELEVACIÓN (msnm)
		CORDENADAS UTM		
		X	Y	
16005	ANGAMACUTIRO (SMN)	216010.906	2230400.92	1500
16024	CORRALES	191767.502	2240048.29	1750
16044	EL SALTO LA PIEDAD	802712.629	2256571.75	1650
16060	LA ESTANSUELA	775155.819	2237644.1	1550
16065	LA PIEDAD CABADAS (DGE)	809709.544	2254849.74	1700
16117	STA. FE DEL RIO	209130.548	2236054.43	1700
16126	TANHUATO (SMN)	776809.582	2243209.57	1540
16128	TEPALCATEPEC	727833.393	2122529.07	974
16141	YURECUARO	783625.285	2252552.61	1534
16159	EL ROSARIO ANGACUTIRO	217694.235	2226680.64	1720
16224	TANHUATO (DGE)	778521.69	2245083.51	1545
16243	ZIQUITARO PENJAMILLO	198385.56	2219617.74	1920
16229	ADJUNTAS	793077.114	2208393.1	1630
11014	CUERAMO	797955.987	2328513.53	1765
11034	LA GOLONDRINA	777738.83	2293078.4	1939
11091	PENJAMO	791633.92	2293313.07	1700
11099	MARIANO ABASOLO	751495.141	2305589.47	1750
11142	EL CUBO	764304.262	2263322.03	1782
11143	EL GALLO	773993.997	2309635.24	2300
11145	LA GAVIA	774415.116	2283791.78	2330
11151	TACUBAYA	783350.166	2269166.63	1700

Tabla 5-1 Estaciones meteorológicas de zona de estudio

5.3.2 Hidrometría

En cuanto a información hidrométrica se realizó una búsqueda dentro del mapa de estaciones del estado de Michoacán, así como de la Base de Datos SIAS (Sistema de Información de Aguas Superficiales) no encontrándose estaciones meteorológicas cerca de la zona de estudio.

5.3.3 Topográfica

La información topográfica de las cuencas se obtuvo de las cartas vectoriales proporcionadas por el INEGI, para las cuencas Arroyo Hondo y 5 de Oros se utiliza la carta vectorial F13d79, y para la cuenca El Tigre se utilizan las cartas F13d79, F13d89, F14c81 y F14c71 a escala 1:50,000. Así como del Modelo Digital de Elevación (MDE) editadas por el INEGI: F13d79, F13d89, F14c81, F14c71 a escala 1:50,000, formato raster, proyección UTM, en coordenadas geográficas.

5.4 Estudio Hidrológico

En este apartado se determina:

- El gasto máximo asociado a diferentes periodos de retorno (2, 100, 500, 1000 y 10000 años) para las diferentes cuencas.

5.4.1 Información Analizada

Para el estudio y determinación de los parámetros geomorfológicos se precisa de la información cartográfica de la topografía. Además del empleo de los conjuntos vectoriales del uso de suelo y edafología del INEGI, para la cuenca Arroyo Hondo y 5 de Oros se utilizó el F1312 y para la cuenca El Tigre se utilizó la F1312 y F1410 a escala 1:250,000.

5.4.2 Identificación de la Cuenca

a) Parteaguas

Es el límite físico de la cuenca que define la dirección de los escurrimientos superficiales, es determinado por el trazo de una línea imaginaria a partir de la boquilla o parte más baja y prolongándola por “el filo” de mayor elevación del área de confluencia (cuidando que los escurrimientos superficiales concurren hacia el punto de salida previamente establecido) y hasta llegar nuevamente a la boquilla,

por el margen opuesto a donde se inicio el trazo. (*Aparicio Fundamentos de Hidrología Superficial*)

PARA SU TRAZO SE REALIZO LO SIGUIENTE:

1. Remarcar o identificar la red de drenaje de interés.
2. Identificar el inicio de la red de drenaje en la parte alta de la cuenca.
3. Identificar la salida de la cuenca.
4. Marcar los cerros más altos que rodean la cuenca.
5. Trazar el parteaguas, uniendo con una línea todos los cerros que rodean la cuenca.

El parteaguas de las cuencas Arroyo Hondo, 5 de Oros y El Tigre se determina con ayuda de las herramientas informáticas denominadas AUTOCAD, CIVILCAD, ARCVIEW y HEC-GEOHMS. Todas ellas precisan de información vectorial y del modelo digital de elevación del terreno (MDE).

La delimitación de la cuenca se hizo por dos procedimientos informáticos: AUTOCAD, CIVILCAD (carta vectorial) y ARCVIEW con HEC-GEOHMS (modelo digital de elevación del terreno) (Figura 5-3).

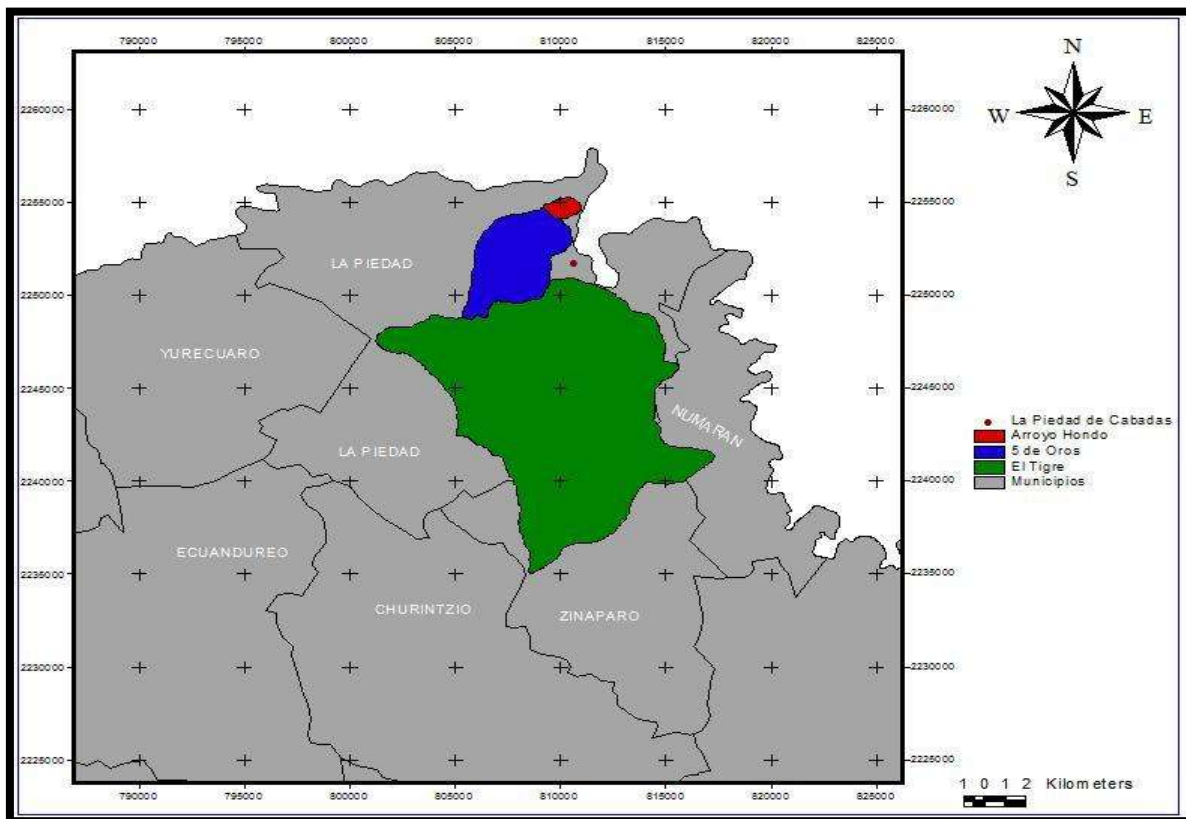


Figura 5-3 Mapa de las cuencas Arroyo Hondo, 5 de Oros y El Tigre.

En AUTOCAD el procedimiento para delimitar la cuenca fue el siguiente: para cada cauce considerado se identificó el parteaguas, la corriente principal y corrientes secundarias.

En ARCVIEW con HEC-GEOHMS existe una serie de rutinas que permiten obtener de forma inmediata el parteaguas, la corriente principal y corrientes secundarias.

Con ambos procedimientos la geometría de la cuenca es semejante, con la ventaja de que el segundo presenta un menor tiempo de proceso.

5.4.2.1 Características Geomorfológicas de la Cuenca

a) Área de las cuencas

Es la superficie interior limitada por el parteaguas. Se mide por cualquier método convencional (planímetro, malla de puntos o algún software apropiado). En nuestro caso se hizo uso de software autocad. Las áreas de las cuencas o áreas de escurrimiento representan la potencialidad de captación de agua hasta el sitio de la boquilla.

Para la cuenca **El Tigre** tenemos una área de 121.841Km², para cuenca **5 Oros** es 18.750 Km² y para la cuenca **Arrollo Hondo** es 1.406 Km².

b) Mapa de Corrientes

Clasificar las corrientes de acuerdo al tiempo que transporta agua las corrientes las podemos clasificar por el tiempo que transportan agua. Según esta clasificación, las corrientes pueden ser perennes, intermitentes o efímeras. (Figura 5-4).*(Aparicio Fundamentos de Hidrología Superficial)*

Perennes (efluentes): En una corriente perenne el punto más bajo del cauce se encuentra siempre abajo del nivel de aguas freáticas. Estas corrientes transportan agua durante todo el año y siempre están alimentadas, totalmente o en parte, por el agua subterránea.

Intermitente: Transporta agua durante la época de lluvias cada año, cuando el nivel freático asciende hasta quedar por encima del punto más bajo del cauce. En épocas de seas el nivel freático queda por debajo de dicho punto y la corriente no transporta agua, salvo cuando se presenta alguna tormenta.

Efímeras (influentes): El nivel freático está siempre abajo del punto más bajo del cauce y transportan agua inmediatamente después de una tormenta, y, en este caso, alimentan a los mantos acuíferos.

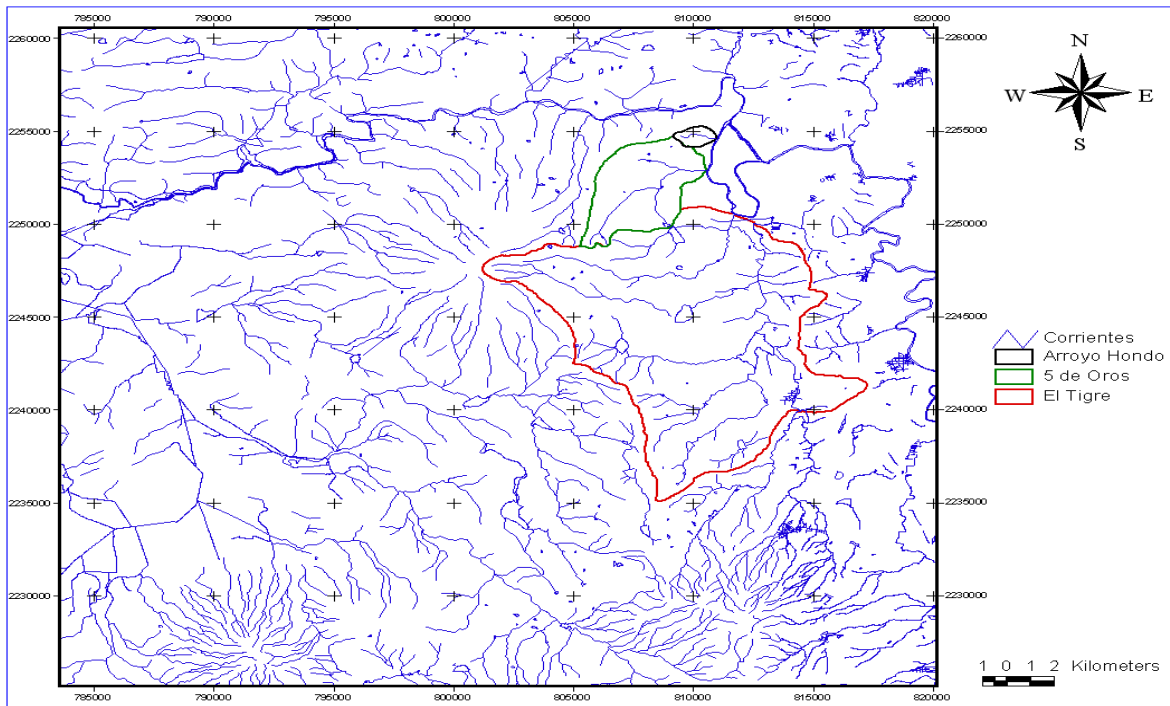


Figura 5-4 Mapa de corrientes para cada una de las cuencas

Las cuencas (Arroyo Hondo, 5 de Oros y el Tigre) conectan directamente al Río Lerma como se observa (figura 5-5).

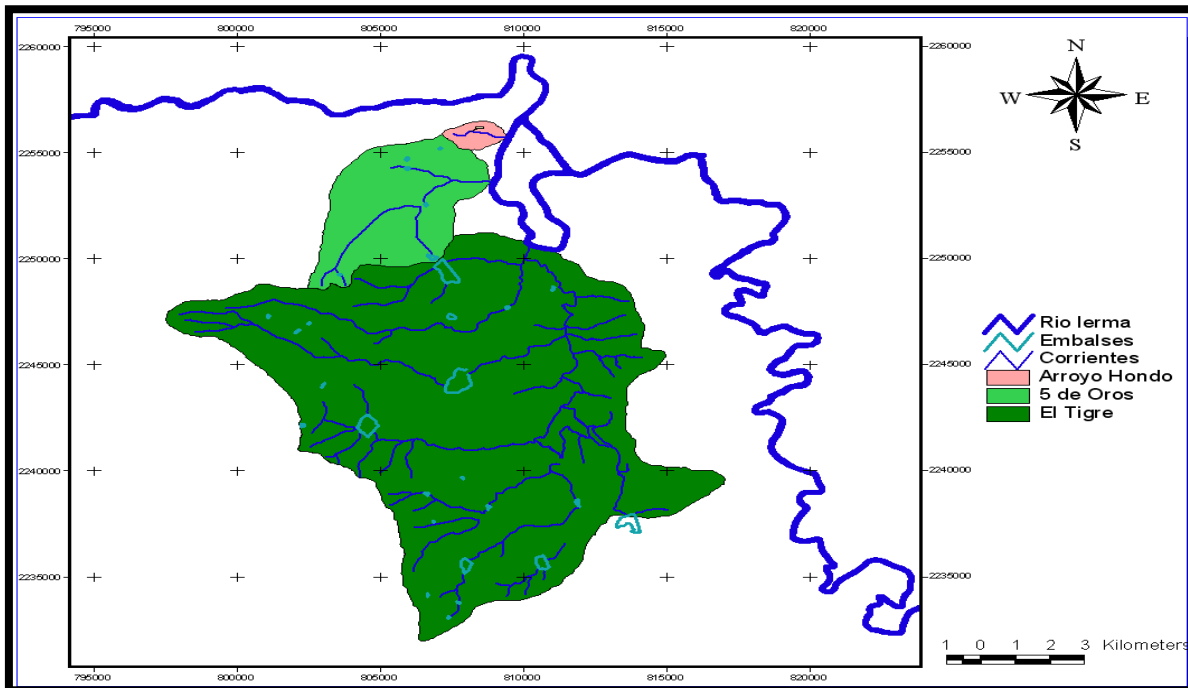


Figura 5-5 Mapa de Cuencas conectadas al río Lerma

La cuenca Arroyo Hondo está conformada únicamente por la corriente intermitente Arroyo Hondo (Figura 5-6).

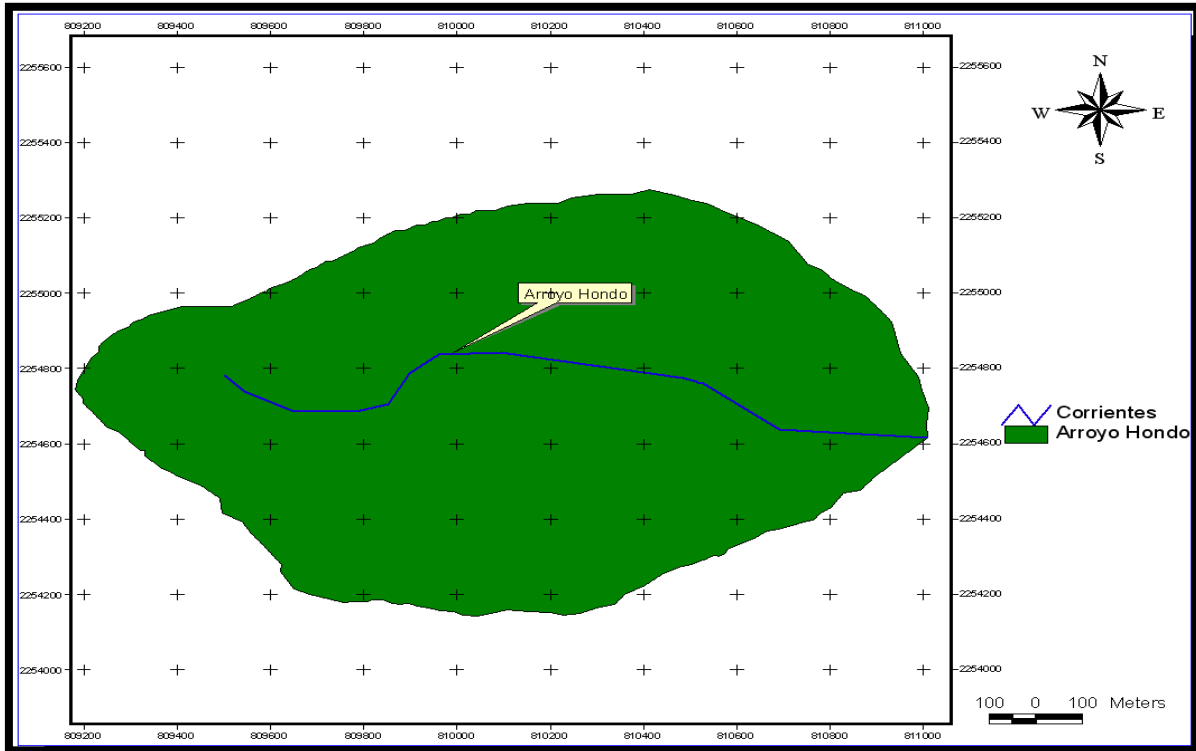


Figura 5-6 Mapa de Corriente de la cuenca Arroyo Hondo

La cuenca 5 de Oros está conformada por los Arroyos San Cristóbal, Delgado y 5 de Oros todas ellas corrientes intermitentes (Figura 5-7).

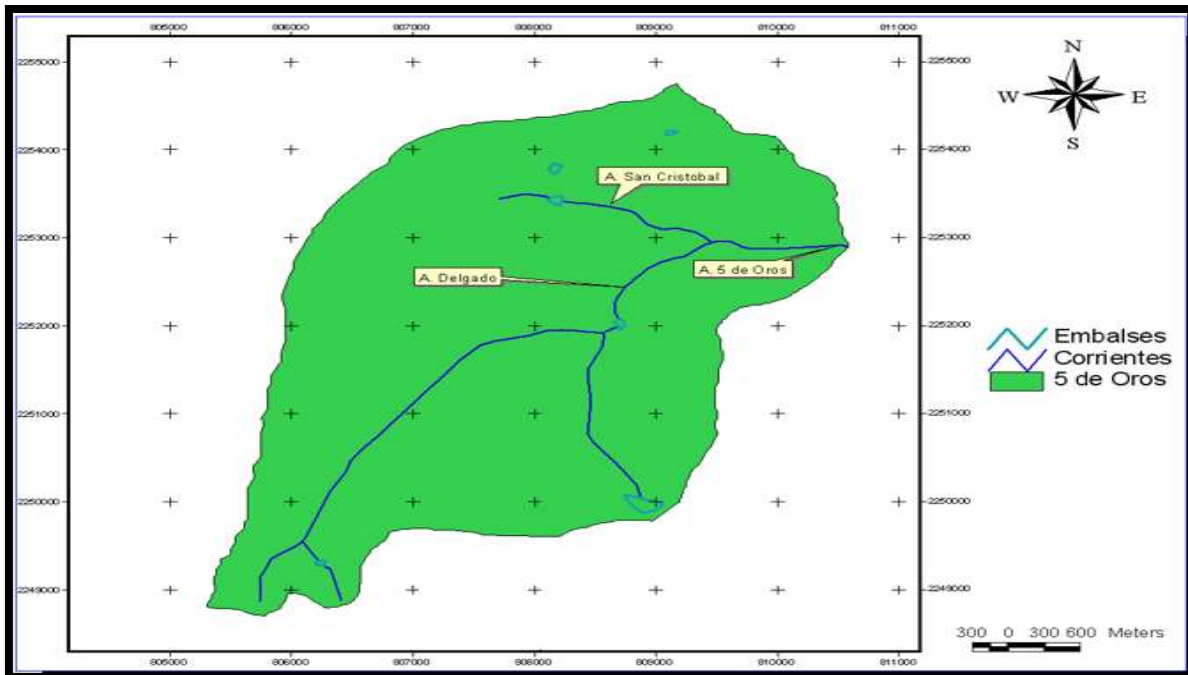


Figura 5-7 Mapa de Corrientes de la cuenca 5 de Oros

La cuenca El Tigre está conformada por los Arroyos Los Moreno, El Tigre, Los Melgoza, El Jaguey, Canaparo, Prieto, Las Vueltas, Aceves y Cardeuata.(Figura 5-8).

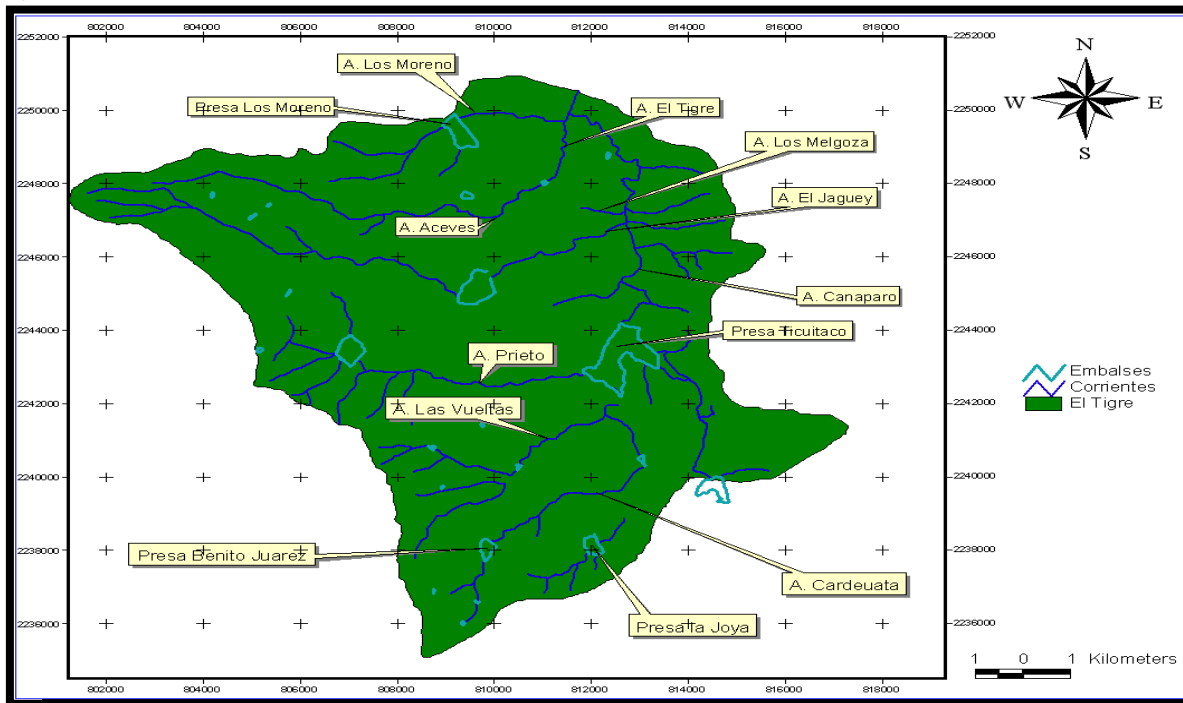


Figura 5-8 Mapa Corrientes de la cuenca El Tigre

c) Longitud del Cauce Principal

Esta longitud se determina una vez que se ha identificado el parteaguas y las corrientes de la cuenca, su valor incide en la pendiente media del cauce y el tiempo de concentración. Aquí se obtiene un valor de 19.916 km para **El Tigre**, 7.279 Km para **5 Oros** y 1.657 para **Arrollo Hondo**.

d) Pendiente Media del Cauce Principal

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,(Figura 5-9, 5-10 y 5-11).

- **Cuenca Arroyo Hondo**

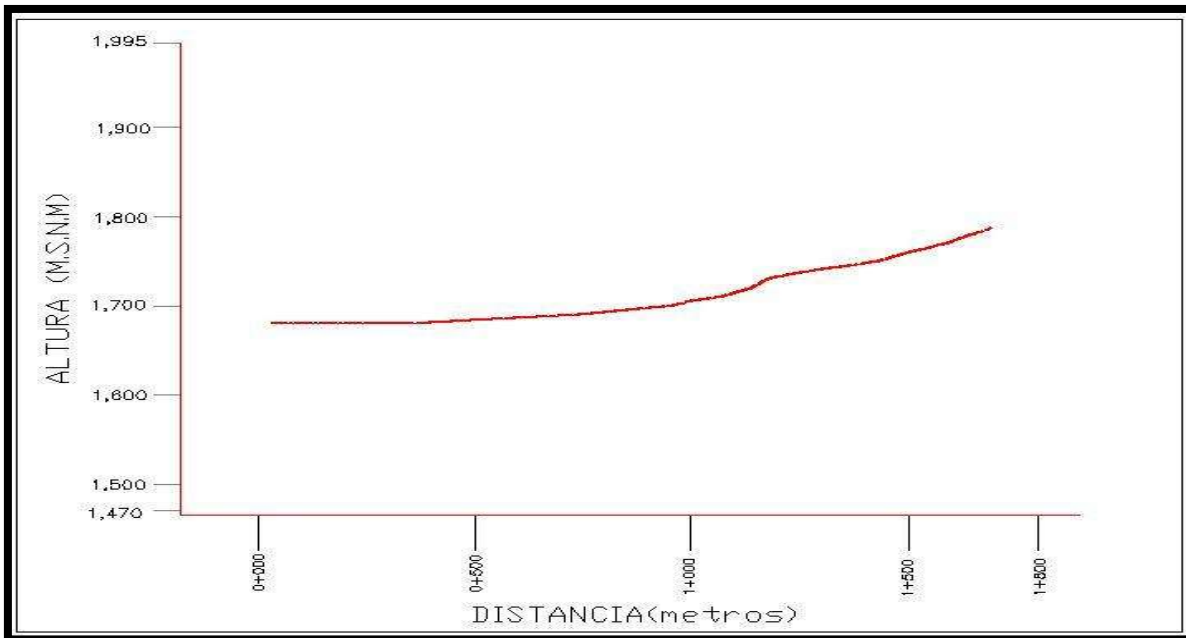


Figura 5-9 Perfil longitudinal del cauce principal de la cuenca Arroyo Hondo

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

- **Cuenca 5 de Oros**

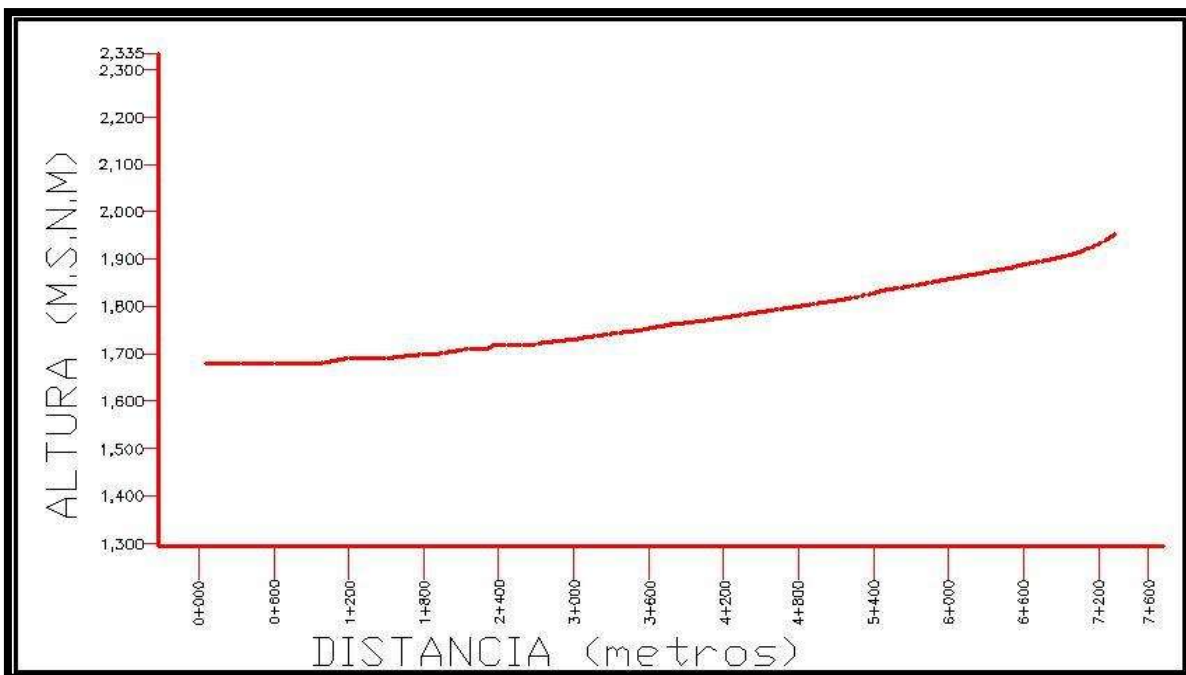


Figura 5-10 Perfil longitudinal del cauce principal de la cuenca 5 de Oros

El perfil nos indica un tramo en todo del cauce principal, siendo este un río de planicie.

- **Cuenca El Tigre**

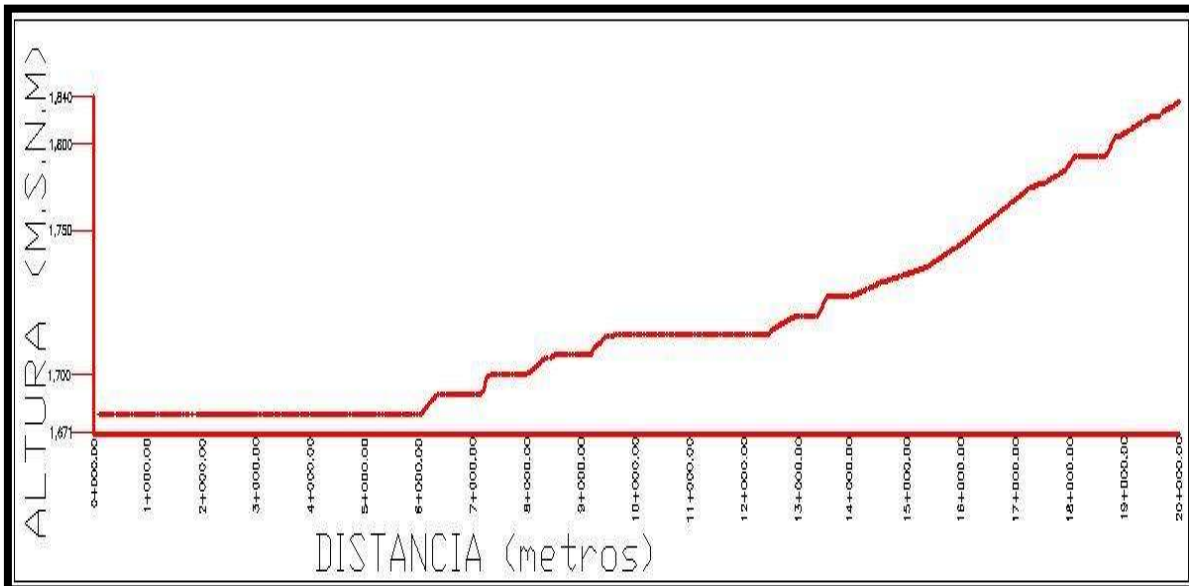


Figura 5-11 Perfil longitudinal del cauce principal de la cuenca El tigre

El perfil nos indica un tramo en todo del cauce principal, siendo este un río de planicie.

Una vez determinado el perfil longitudinal se utiliza el criterio de **Taylor-Schwarz** (Aparicio Fundamentos de Hidrología Superficial) 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.

Con lo expuesto antes resulta que la pendiente media del cauce principal para las diferentes cuencas es:

- **Cuenca El Tigre**

LONGITUD (m)	PENDIENTES (%)	PENDIENTE	$\frac{L}{\sum S}$
6318.39	0.1583	0.0016	158805.66
821.42	0.9742	0.0097	8322.26
1241.9	0.8877	0.0089	13181.16
4987.55	0.5342	0.0053	68239.42
4585.1	1.5834	0.0158	36437.91
1961.87	1.4489	0.0145	16298.63
19916.23	$\sum =$		301285.03
Pendiente media (%) =		0.43	

Tabla 5-2 Pendiente media del cauce principal cuenca El Tigre

Área , en km²	121.841
Longitud cauce principal , en km	19.916
Pendiente media Cauce Principal, en %	0.430

Características principales de la cuenca El Tigre

- **Cuenca 5 Oros**

LONGITUD (m)	PENDIENTES (%)	PENDIENTE	$\frac{L}{\sum S}$
1499.79	0.8153	0.0082	16610.08
1015	2.7362	0.0274	6136.10
1472.48	3.4129	0.0341	7970.54
1389.19	4.3462	0.0435	6663.57
1022.64	4.8235	0.0482	4656.31
880.1	8.2665	0.0827	3061.06
7279.2	$\sum =$		45097.64
Pendiente media (%) =		2.605	

Tabla 5-3 Pendiente media del cauce principal cuenca 5 Oros

Área , en km ²	18.750
Longitud cauce principal , en km	7.279
Pendiente media Cauce Principal, en %	2.605

Características principales de la cuenca 5 Oros

- Cuenca Arroyo Hondo

LONGITUD (m)	PENDIENTES (%)	PENDIENTE	$\frac{l}{\sqrt{s}}$
1066.74	31.1879	0.3119	1910.14
590.76	11.8315	0.1183	1717.48
1657.5	$\Sigma =$		3627.62
Pendiente media (%) =		20.877	

Tabla 5-4 Pendiente media del cauce principal cuenca Arroyo Hondo

Área , en km ²	1.406
Longitud cauce principal , en km	1.657
Pendiente media Cauce Principal, en %	20.877

5.5 Otras Características de las Cuencas

5.5.1 Número de Escurrimiento (N).

El valor del número de escurrimiento (N) es un indicador de la capacidad de retención del agua en la superficie y es útil para conocer la precipitación interceptada. Su valor se obtiene a partir de la superposición del mapa de uso de suelo, el mapa de tipo de suelo y el mapa de pendientes, para asignar números de escurrimiento se hace con respecto a la siguiente tabla que se encuentra en el libro (tabla 5-5) "fundamentos de Hidrología de Superficie" Francisco Javier Aparicio.

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
Camino						
De terracería	*****	**	72	82	87	89
De superficie muy dura	*****	**	74	84	90	92

Tabla 5-5 Tabla de número de escurrimiento N

La cuantificación de Uso de Suelo se observa en las tablas y mapas siguientes:

- **Cuenca Arroyo Hondo**

Uso	Área (m ²)	% Área
ÁREA AGRÍCOLA	525976.61	37.42020975
LOCALIDAD	879618.42	62.58
Suma	1405595.03	100.00

Tabla 5-6 Zonificación y Cuantificación de uso de suelo en la cuenca Arroyo Hondo

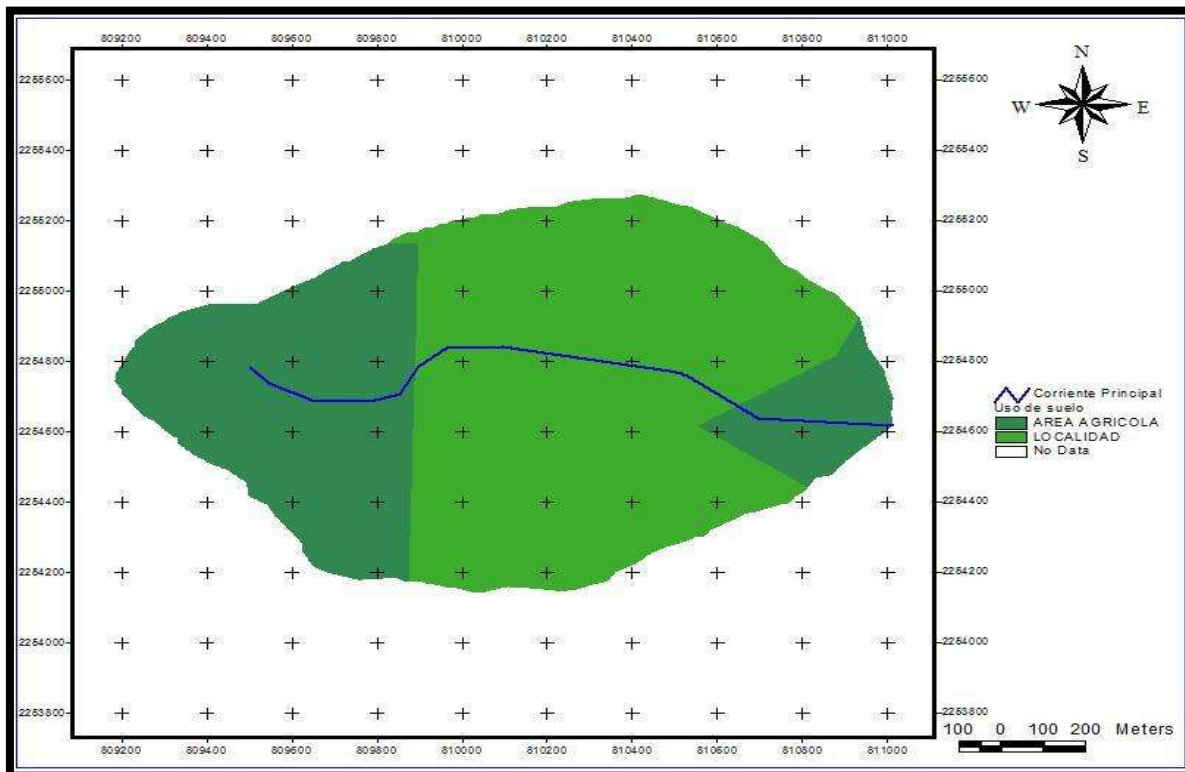


Figura 5-12 Mapa de Uso de Suelo de la cuenca Arroyo Hondo

- **Cuenca 5 de Oros**

Uso	Área (m ²)	% Área
LOCALIDAD	4415051.08	23.55
MATORRAL	3925699.36	20.94
ÁREA AGRÍCOLA	10408970.20	55.52
Suma	18749720.64	100.00

Tabla 5-7 Zonificación y Cuantificación de uso de suelo en la cuenca 5 de Oros

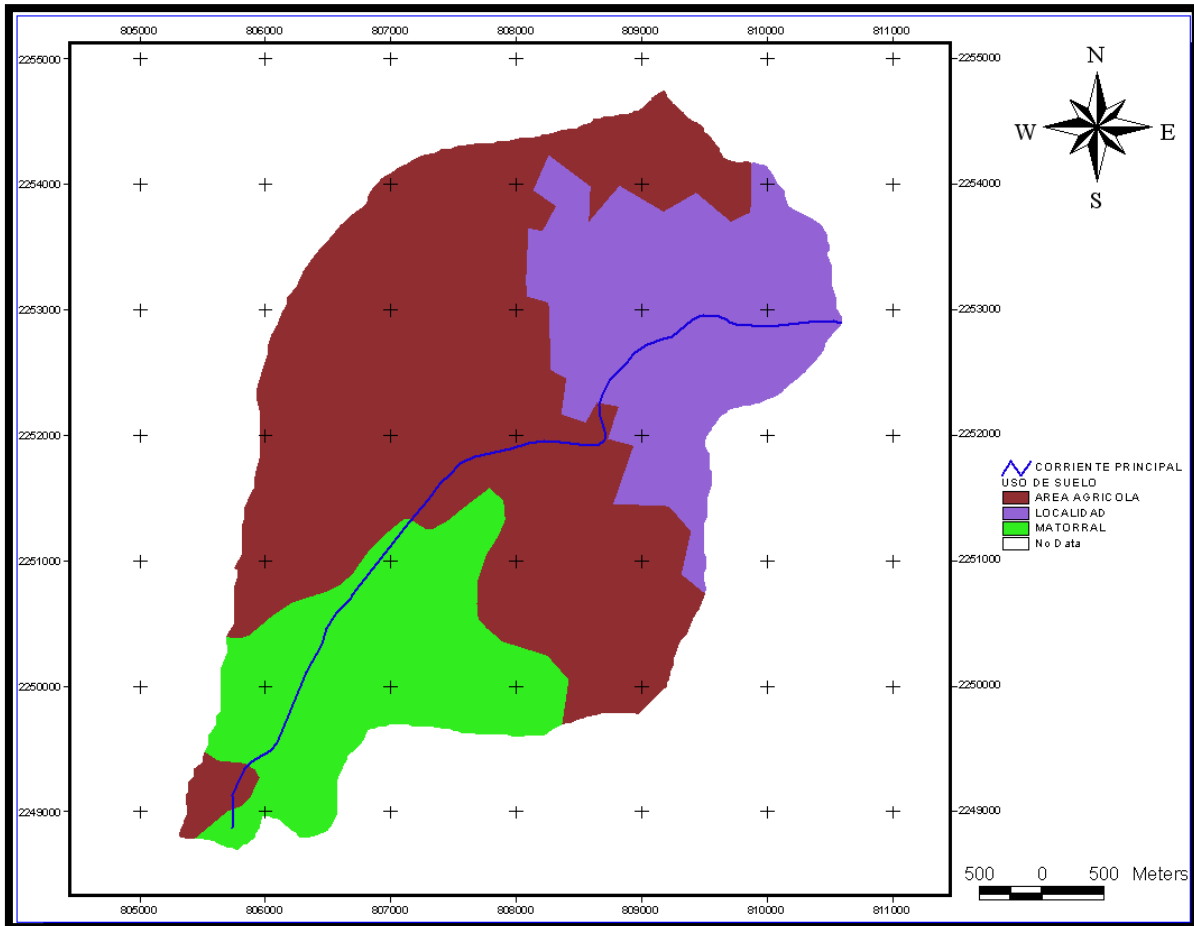


Figura 5-13 Mapa de Uso de Suelo de la cuenca 5 de Oros

- **Cuenca El Tigre**

Uso	Área (m ²)	%Área
LOCALIDAD	1393167.567	1.143
MATORRAL	18999997.04	15.59
ÁREA AGRÍCOLA	74763909.71	61.36
PASTIZAL	21465320.82	17.62
BOSQUE	3372510.39	2.77
CUERPO DE AGUA	1846407.90	1.52
Suma	121841313.42	100.000

Tabla 5-8 Zonificación y Cuantificación de uso de suelo en la cuenca El Tigre

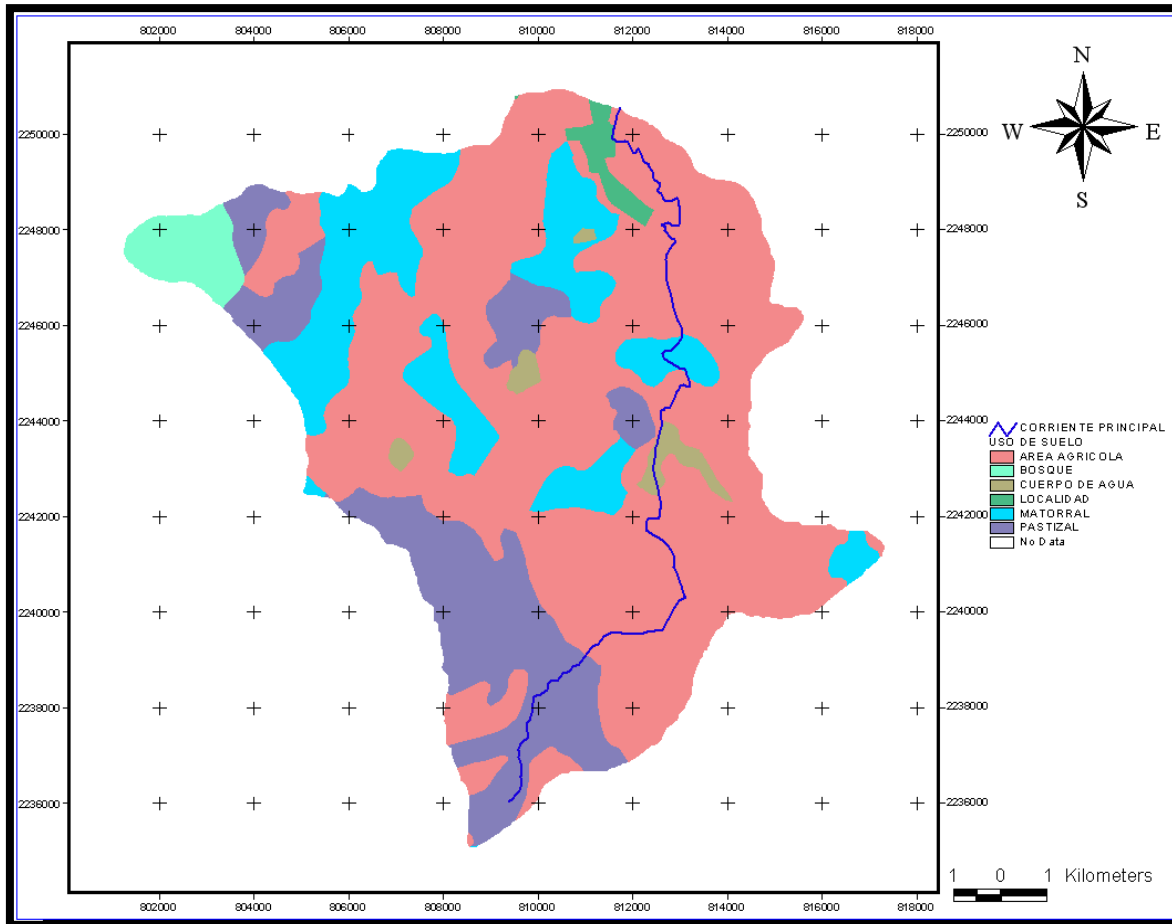


Figura 5-14 Mapa de Uso de Suelo de la cuenca El Tigre

Para cuantificar los usos de suelo, se trabajó con las extensiones Projection Analysis, Projection Utility, HEC-GeoHMS, Spatial Analyst e Hydrologic Modeling v11, en entorno de ARCVIEW utilizando información vectorial editada por INEGI.

La cuantificación del Tipo de Suelo en las cuencas se presenta en la tabla y gráfica siguiente:

- **Cuenca Arroyo Hondo**

Tipo de suelo	Área (m ²)	% Área
3	1405595.03	100.00

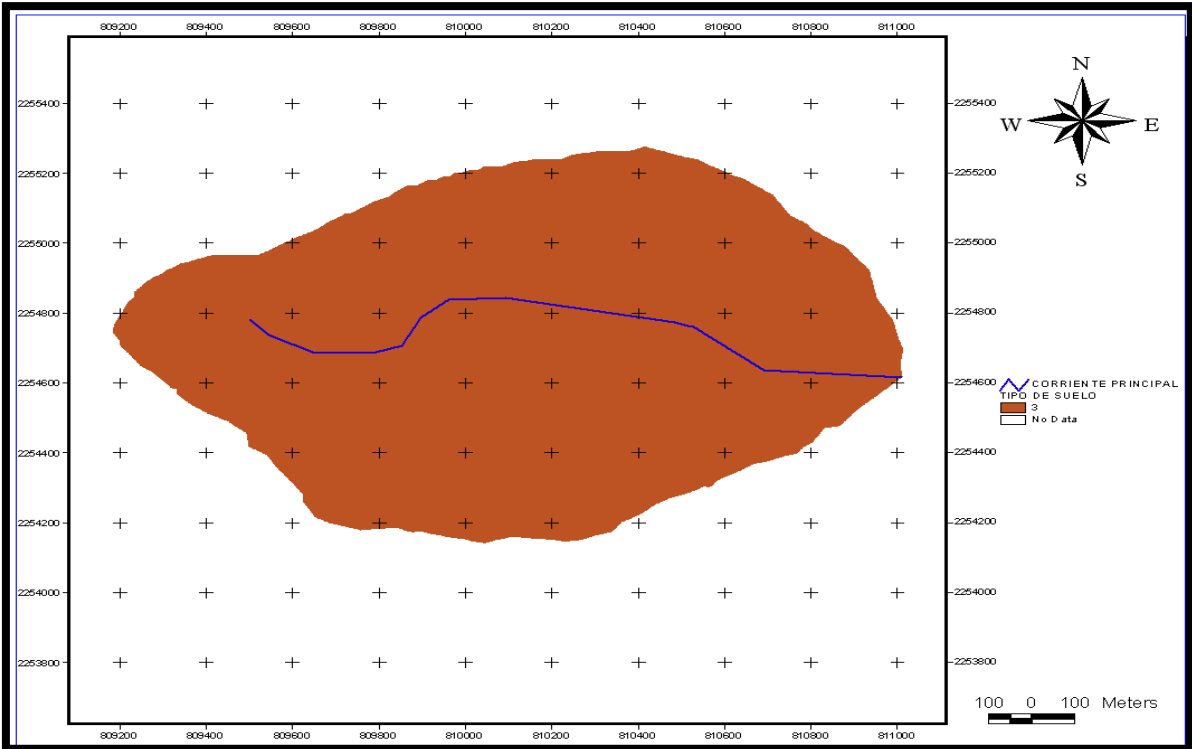


Figura 5-15 Mapa de Tipo de Suelo de la cuenca Arroyo Hondo

- Cuenca 5 de Oros

Tipo	Área	% Área
3	18749721	100.0

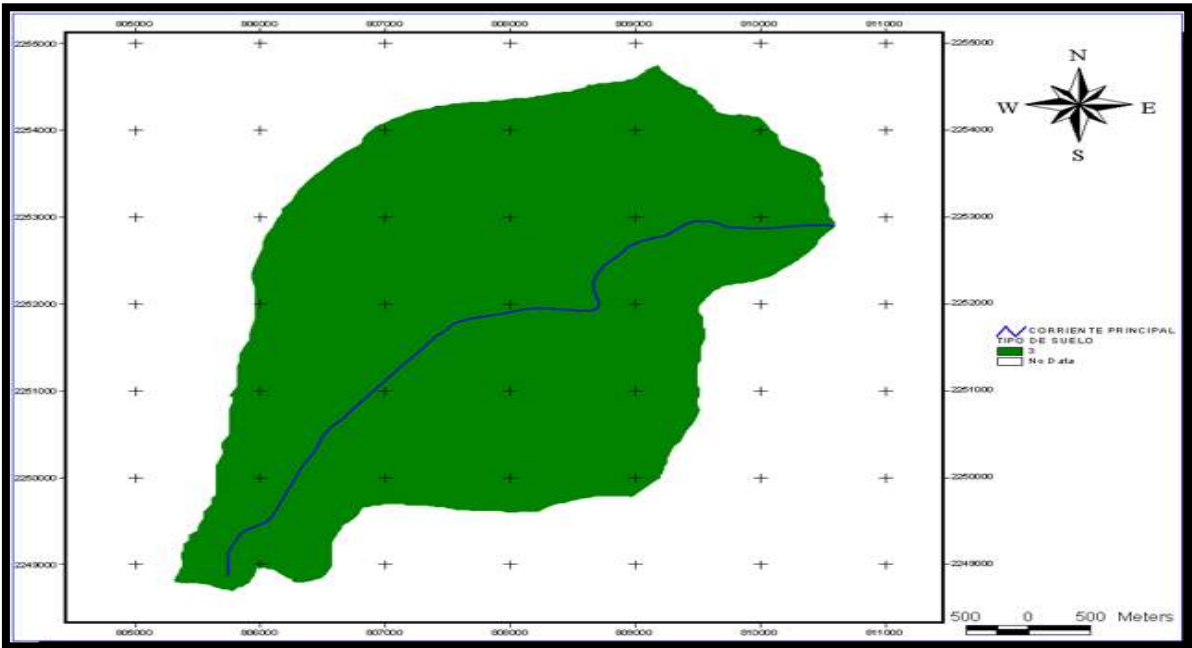


Figura 5-16 Mapa de Tipo de Suelo de la cuenca Arroyo Hondo

- Cuenca El Tigre

Tipo	Área (m ²)	% Área
3	121841313.42	100

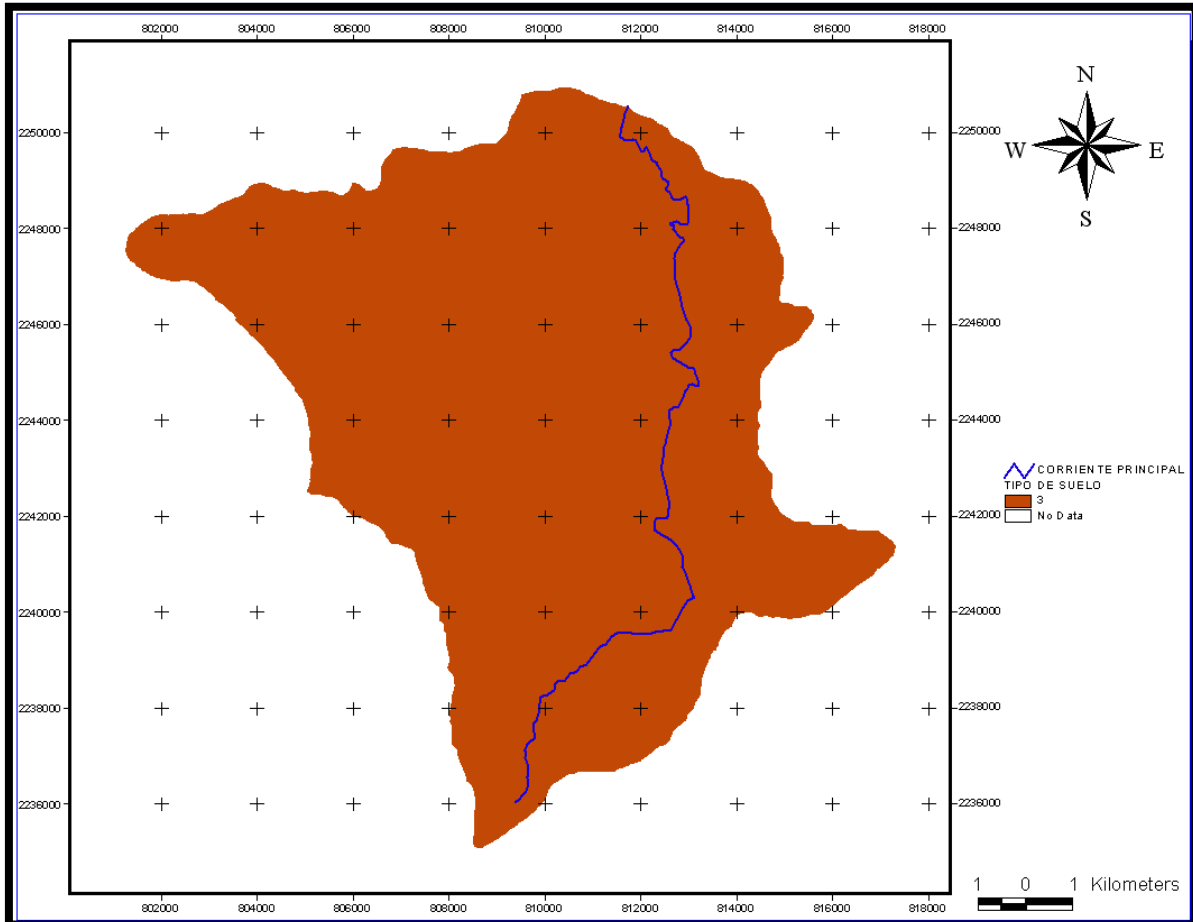


Figura 5-17 Mapa de Tipo de Suelo de la cuenca Arroyo Hondo

Una vez que se cuantifica y se zonifica el uso de suelo, tipo de suelo y pendiente del suelo en la cuenca, el valor del coeficiente de escurrimiento se obtiene como un promedio pesado según la fórmula siguiente:

$$N = \frac{N_1 A_1 + N_2 A_2 + \dots + N_3 A_3}{A}$$

Donde:

A_i Área de grupo tipo suelo – uso suelo – pendiente suelo, resultado de la intersección de los mapas.

N_i Número de escurrimiento correspondiente al área A_i
 A Área total de la cuenca.

Así el valor del número de escurrimiento para las cuencas se muestra en la tabla 5-9 siguiente:

Cuenca	N
Arroyo Hondo	84.76
5 de Oros	85.95
El Tigre	82.99

Tabla 5-9 Números de escurrimiento

5.5.2 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. Esta 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.

Con lo expuesto antes se obtiene un valor del tiempo de concentración (t_c) para El Tigre de 5.37 horas, 5 Oros de 1.24 horas y para Arrollo Hondo 0.18 horas.

5.6 Gastos de Diseño

Las cuencas no cuenta con estaciones hidrométricas por tanto la determinación del gasto de diseño se realiza a partir de la precipitación.

5.6.1 Cálculo de Avenidas a Partir de Datos de Precipitación

La tormenta de diseño, es uno de los datos de partida para el cálculo de las avenidas máximas. Por lo que es evidente la necesidad de tener una buena exactitud. La única manera de obtener información de la cantidad de precipitación que ocurre en una determinada cuenca, es el análisis de las tormentas que se hayan producido en la zona. Sin embargo, la información registrada de las series de datos de precipitación es limitada, disponiéndose de datos históricos de pocos años (para el caso en estudio se dispone de 55 años para La Piedad y 69 para Corrales) en comparación a la de los periodos de retorno habituales para el diseño de obras (2, 100, 1000 y 10000). Por otro lado estos datos se corresponden a la precipitación que ocurre en 24 horas en una gran mayoría de casos, y como es el caso del presente estudio. Es por esta razón, que habría que ser muy prudente en el tratamiento estadístico de los datos de precipitación, así como en la conversión al contexto regional de cada cuenca.

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

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

5.6.1.1 Datos Tratados de la Estación Meteorológica Base (Arteaga)

El tratamiento de los datos se analizo en capítulo correspondiente a tratamiento de datos, presentando en la tabla 5-10 las series de precipitación total anual y máxima 24 hrs.

CORRALES	
AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 horas (mm)
1935	40.00
1936	37.00
1938	43.70
1939	90.00
1940	38.40
1942	54.40
1943	66.50
1944	45.00
1945	39.50
1946	50.50
1947	35.50
1948	50.80
1949	51.50
1951	42.00
1952	67.50
1953	41.00
1954	40.00
1955	46.00
1956	34.50
1957	39.00
1958	56.00
1959	72.50
1960	49.30
1961	32.60
1962	36.90
1963	46.20
1964	69.00
1965	61.10
1966	38.70
1967	39.50
1968	56.00
1969	83.40
1970	64.40
1971	41.80
1972	70.80
1973	52.50
1974	75.30
1975	39.10
1976	68.50
1977	49.00
1978	39.90
1979	49.40
1980	35.00
1981	38.50
1982	23.30
1983	47.10
1984	41.00
1985	46.20
1986	40.00

LA PIEDAD	
AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 horas (mm)
1925	60
1926	65
1928	55
1929	68
1931	31.5
1933	68.2
1934	84
1935	75
1936	53.4
1937	75.5
1938	38.5
1939	55
1945	62.5
1947	37.5
1948	48
1949	34
1950	45
1955	64
1956	47.5
1957	32
1958	148
1959	80
1961	42
1962	76.5
1963	45.2
1964	52.5
1965	87.5
1966	72.5
1967	68.7
1968	76.3
1969	47.5
1970	59.3
1971	48.2
1972	63.5
1973	67
1974	42.5
1975	54.1
1976	73.2
1978	45.5
1984	38.3
1985	41.4
1986	42.5
1987	25
1988	58
1995	44
1996	48.5
1997	43
1998	44
1999	54

CORRALES	
AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 horas (mm)
1987	87.80
1988	29.40
1990	38.50
1991	54.00
1992	32.00
1993	53.00
1994	38.70
1995	51.20
1996	41.00
1997	43.40
1998	57.60
1999	76.60
2000	31.7
2001	50.3
2003	30
2004	62.1
2005	51
2006	41.8
2007	46.5
2008	61.5

LA PIEDAD	
AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 horas (mm)
2000	20
2001	43
2002	58
2003	65
2004	55
2005	35

Tabla 5-10 Series de precipitación máxima 24 horas de las estaciones base

5.6.2 Tormenta de Diseño (idtr).

5.6.2.1 Ajuste a Diversas Funciones de Distribución de la Precipitación Máxima 24 horas.

En este apartado se realizaron los cálculos con ayuda de una hoja de EXCEL, dicha hoja analiza los datos históricos y los ajusta a una distribución probabilística. En la siguiente tabla 5-11 se presenta el resumen de resultados con la función de distribución de mejor ajuste.

Estación Corrales

	EST.B ASE	NORMAL		LOG- NORMAL		PEARSON III		GUMBEL		LOG - PEARSON III	
Tr	Xo	Xe		Xe		Xe		Xe		Xe	
AÑOS	(mm)	(mm)	(Xe- Xo)^2	(mm)	(Xe- Xo)^2	(mm)	(Xe- Xo)^2	(mm)	(Xe- Xo)^2	(mm)	(Xe-Xo)^2
59.00	95.00	85.42	91.82	90.17	23.36	89.93	25.69	99.28	18.31	44.23	2577.51
29.50	90.00	80.77	85.17	83.05	48.25	82.27	59.71	89.85	0.02	43.48	2163.98
19.67	87.80	77.78	100.34	78.78	81.38	77.64	103.18	84.28	12.41	42.98	2008.80
14.75	84.80	75.51	86.31	75.67	83.27	74.27	110.84	80.29	20.33	42.59	1781.81
11.80	83.40	73.64	95.23	73.22	103.72	71.60	139.25	77.17	38.82	42.26	1692.55
9.83	76.60	72.04	20.83	71.17	29.52	69.37	52.23	74.60	4.02	41.97	1199.15
8.43	75.30	70.62	21.94	69.40	34.80	67.46	61.54	72.40	8.42	41.71	1128.15
7.38	72.50	69.33	10.03	67.84	21.68	65.77	45.35	70.48	4.10	41.47	962.59
6.56	70.80	68.15	7.00	66.45	18.96	64.25	42.89	68.76	4.15	41.25	873.02
5.90	69.00	67.06	3.76	65.17	14.65	62.87	37.53	67.21	3.19	41.05	781.47
5.36	66.50	66.04	0.22	64.00	6.24	61.61	23.93	65.80	0.49	40.85	658.03
4.92	64.40	65.07	0.44	62.91	2.21	60.44	15.71	64.49	0.01	40.66	563.63
4.54	63.70	64.14	0.20	61.90	3.25	59.34	19.00	63.28	0.18	40.48	539.27
4.21	61.10	63.26	4.68	60.94	0.03	58.31	7.77	62.14	1.08	40.30	432.54
3.93	57.60	62.41	23.18	60.03	5.91	57.34	0.07	61.07	12.04	40.13	305.13
3.69	56.00	61.60	31.30	59.17	10.03	56.42	0.17	60.06	16.45	39.97	257.09
3.47	56.00	60.80	23.05	58.34	5.49	55.54	0.21	59.09	9.55	39.80	262.33
3.28	54.40	60.03	31.69	57.55	9.93	54.70	0.09	58.17	14.21	39.64	217.74
3.11	54.10	59.28	26.79	56.79	7.23	53.89	0.04	57.29	10.16	39.49	213.54
2.95	52.50	58.54	36.47	56.05	12.63	53.11	0.37	56.44	15.52	39.33	173.39
2.81	52.00	57.82	33.82	55.34	11.17	52.36	0.13	55.62	13.11	39.18	164.38
2.68	51.50	57.10	31.41	54.65	9.93	51.63	0.02	54.83	11.09	39.03	155.58
2.57	51.20	56.40	27.08	53.98	7.71	50.93	0.07	54.06	8.20	38.88	151.89
2.46	51.00	55.71	22.20	53.32	5.39	50.24	0.57	53.32	5.37	38.73	150.67
2.36	50.80	55.03	17.87	52.68	3.53	49.57	1.50	52.59	3.21	38.58	149.45
2.27	50.50	54.35	14.81	52.05	2.40	48.92	2.49	51.88	1.91	38.43	145.80
2.19	50.30	53.67	11.38	51.43	1.28	48.28	4.07	51.19	0.79	38.27	144.61
2.11	49.40	53.00	12.97	50.82	2.03	47.66	3.04	50.51	1.23	38.12	127.15
2.03	49.30	52.33	9.19	50.23	0.86	47.04	5.10	49.84	0.29	37.97	128.32
1.97	49.00	51.66	7.09	49.64	0.40	46.44	6.56	49.18	0.03	37.82	125.01
1.90	47.10	50.99	15.15	49.05	3.80	45.84	1.58	48.54	2.06	37.67	89.02
1.84	46.50	50.32	14.59	48.47	3.89	45.26	1.55	47.89	1.95	37.51	80.83
1.79	46.20	49.65	11.87	47.90	2.88	44.68	2.32	47.26	1.13	37.35	78.30
1.74	46.20	48.97	7.65	47.32	1.26	44.10	4.41	46.63	0.19	37.19	81.16
1.69	46.00	48.28	5.20	46.75	0.57	43.53	6.09	46.01	0.00	37.03	80.49

	EST.B ASE	NORMAL		LOG-NORMAL		PEARSON III		GUMBEL		LOG - PEARSON III	
Tr	Xo	Xe		Xe		Xe		Xe		Xe	
AÑOS	(mm)	(mm)	(Xe-Xo) ²	(mm)	(Xe-Xo) ²	(mm)	(Xe-Xo) ²	(mm)	(Xe-Xo) ²	(mm)	(Xe-Xo) ²
1.64	43.70	47.59	15.12	46.19	6.18	42.97	0.54	45.39	2.85	36.86	46.75
1.59	43.40	46.89	12.17	45.62	4.91	42.40	0.99	44.77	1.87	36.69	44.98
1.55	43.10	46.18	9.47	45.05	3.79	41.84	1.58	44.15	1.10	36.52	43.30
1.51	42.00	45.45	11.93	44.47	6.12	41.28	0.51	43.53	2.33	36.34	32.01
1.48	41.80	44.72	8.51	43.90	4.41	40.72	1.16	42.90	1.22	36.16	31.82
1.44	41.00	43.96	8.79	43.32	5.37	40.16	0.70	42.28	1.63	35.97	25.29
1.40	41.00	43.19	4.80	42.73	2.99	39.60	1.96	41.65	0.42	35.78	27.29
1.37	40.20	42.40	4.83	42.13	3.74	39.03	1.36	41.01	0.65	35.57	21.41
1.34	40.00	41.58	2.49	41.53	2.34	38.46	2.37	40.36	0.13	35.36	21.51
1.31	40.00	40.73	0.53	40.91	0.83	37.88	4.48	39.70	0.09	35.14	23.60
1.28	39.90	39.85	0.00	40.28	0.14	37.29	6.79	39.02	0.77	34.91	24.90
1.26	39.50	38.93	0.33	39.63	0.02	36.70	7.86	38.33	1.37	34.67	23.37
1.23	39.10	37.96	1.31	38.95	0.02	36.08	9.09	37.61	2.21	34.41	22.04
1.20	39.00	36.93	4.28	38.25	0.56	35.46	12.56	36.87	4.53	34.13	23.75
1.18	38.70	35.84	8.19	37.52	1.39	34.81	15.16	36.10	6.78	33.83	23.76
1.16	37.70	34.66	9.24	36.75	0.91	34.13	12.75	35.28	5.86	33.50	17.66
1.13	37.00	33.38	13.12	35.92	1.16	33.42	12.81	34.41	6.71	33.14	14.94
1.11	36.80	31.96	23.46	35.03	3.13	32.67	17.06	33.47	11.08	32.73	16.58
1.09	34.50	30.35	17.21	34.05	0.20	31.86	6.97	32.44	4.24	32.26	5.02
1.07	33.90	28.48	29.34	32.94	0.91	30.97	8.58	31.28	6.88	31.71	4.82
1.05	33.90	26.21	59.13	31.65	5.08	29.96	15.49	29.91	15.91	31.02	8.32
1.04	31.70	23.22	71.88	30.02	2.83	28.76	8.65	28.20	12.27	30.09	2.61
1.02	29.40	18.58	117.17	27.65	3.07	27.13	5.13	25.69	13.75	28.59	0.66
		$\Sigma =$	3	$\Sigma =$	639.78	$\Sigma =$	939.69	$\Sigma =$	348.68	$\Sigma =$	21150.76

Tabla 5-11 resumen de ajuste a diversas funciones de distribución

En la figura 5-18 se muestra el ajuste de distribución para diferentes periodos de retorno para la estación base (Corrales).

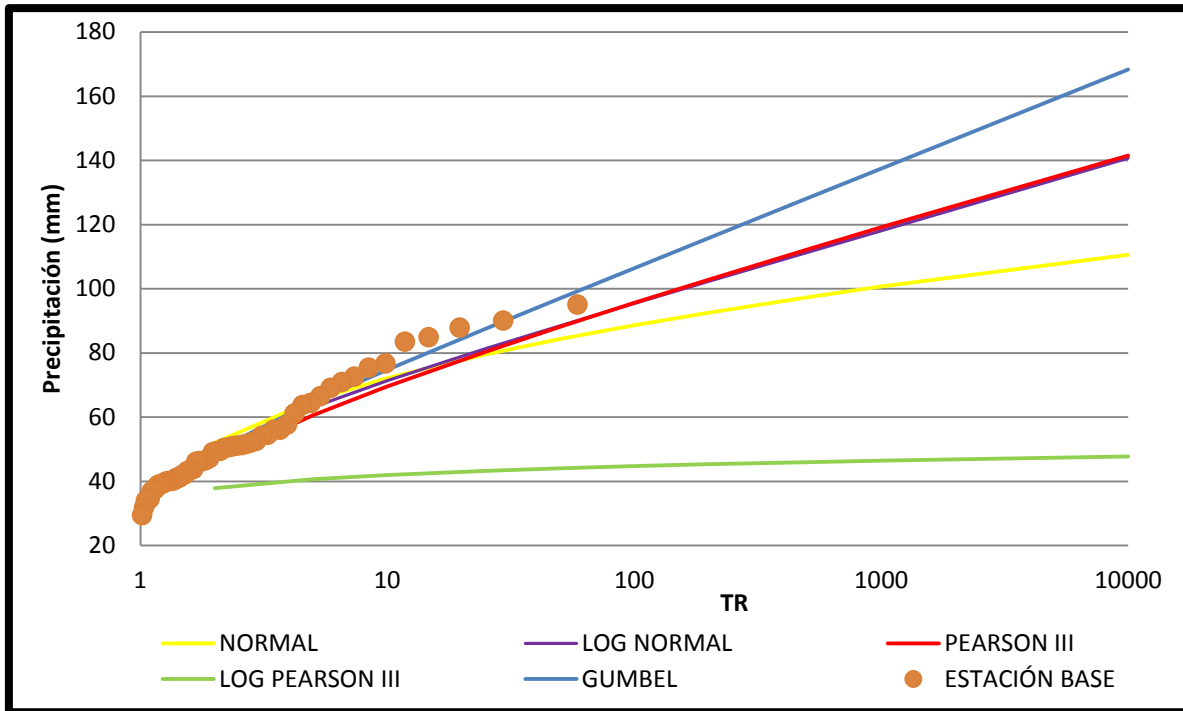


Figura 5-18 Ajuste de distribución de Precipitaciones máximas en mm para periodos de retorno de 0 a 10,000 años de la estación Corrales

Ahora para le estación de la piedad tenemos el resuen de las funciones de distribución y el mejor ajuste Tabla 5-12

Estación La Piedad

Tr	EST. BASE	NORMAL		LOG - NORMAL		PEARSON III		GUMBEL		LOG - PEARSON III	
	Xo (mm)	Xe (mm)	(Xe-Xo)^2	Xe (mm)	(Xe-Xo)^2	Xe (mm)	(Xe-Xo)^2	Xe (mm)	(Xe-Xo)^2	Xe (mm)	(Xe-Xo)^2
59.00	148.00	98.89	2411.77	106.70	1705.37	108.89	1529.47	117.49	930.68	47.10	10180.05
29.50	113.00	92.65	413.94	96.22	281.67	95.60	302.66	104.83	66.70	45.77	4520.34
19.67	87.50	88.64	1.31	90.02	6.37	87.83	0.11	97.36	97.22	44.87	1817.09
14.75	80.00	85.59	31.28	85.58	31.15	82.31	5.35	92.01	144.23	44.17	1283.52
11.80	79.90	83.09	10.15	82.09	4.82	78.04	3.47	87.82	62.74	43.59	1318.66
9.83	76.50	80.93	19.64	79.21	7.36	74.54	3.84	84.37	61.87	43.07	1117.39
8.43	76.30	79.03	7.43	76.75	0.20	71.59	22.23	81.42	26.18	42.61	1135.00
7.38	75.00	77.30	5.31	74.58	0.17	69.03	35.70	78.84	14.72	42.19	1076.74
6.56	73.20	75.72	6.37	72.65	0.30	66.77	41.38	76.54	11.14	41.79	986.46
5.90	72.50	74.26	3.08	70.91	2.54	64.75	60.10	74.46	3.84	41.42	965.89
5.36	68.70	72.88	17.46	69.31	0.37	62.92	33.41	72.56	14.91	41.07	763.46

	EST. BASE	NORMAL		LOG - NORMAL		PEARSON III		GUMBEL		LOG - PEARSON III	
Tr	Xo	Xe		Xe		Xe		Xe		Xe	
AÑOS	(mm)	(mm)	(Xe-Xo)^2	(mm)	(Xe-Xo)^2	(mm)	(Xe-Xo)^2	(mm)	(Xe-Xo)^2	(mm)	(Xe-Xo)^2
4.92	67.00	71.58	20.96	67.83	0.68	61.25	33.04	70.81	14.51	40.73	689.95
4.54	65.00	70.34	28.53	66.45	2.10	59.72	27.91	69.18	17.46	40.41	604.69
4.21	63.50	69.16	32.00	65.16	2.74	58.30	27.08	67.65	17.24	40.10	547.70
3.93	63.00	68.02	25.19	63.94	0.88	56.97	36.31	66.21	10.33	39.79	538.54
3.69	62.50	66.92	19.53	62.78	0.08	55.74	45.74	64.85	5.54	39.50	529.10
3.47	60.00	65.85	34.27	61.68	2.83	54.57	29.44	63.56	12.66	39.21	432.29
3.28	59.30	64.82	30.45	60.63	1.77	53.48	33.89	62.32	9.14	38.92	415.16
3.11	58.00	63.81	33.72	59.62	2.63	52.44	30.89	61.14	9.85	38.65	374.62
2.95	58.00	62.82	23.21	58.65	0.43	51.46	42.79	60.00	4.00	38.37	385.37
2.81	55.00	61.85	46.89	57.72	7.38	50.52	20.04	58.90	15.23	38.10	285.73
2.68	55.00	60.89	34.73	56.81	3.27	49.63	28.82	57.84	8.07	37.83	294.94
2.57	54.50	59.95	29.74	55.93	2.05	48.78	32.73	56.81	5.34	37.56	287.05
2.46	54.10	59.02	24.25	55.07	0.95	47.96	37.66	55.81	2.93	37.29	282.57
2.36	54.00	58.11	16.85	54.24	0.06	47.18	46.51	54.84	0.70	37.02	288.21
2.27	53.50	57.19	13.64	53.43	0.01	46.43	50.00	53.89	0.15	36.76	280.34
2.19	53.40	56.29	8.34	52.63	0.59	45.71	59.21	52.95	0.20	36.49	285.95
2.11	52.50	55.39	8.33	51.85	0.42	45.01	56.13	52.04	0.21	36.22	264.97
2.03	50.00	54.49	20.13	51.08	1.17	44.34	32.09	51.15	1.31	35.95	197.31
1.97	48.50	53.59	25.90	50.33	3.33	43.69	23.18	50.26	3.11	35.68	164.29
1.90	48.20	52.69	20.16	49.58	1.91	43.06	26.46	49.39	1.42	35.41	163.60
1.84	48.00	51.79	14.35	48.84	0.71	42.45	30.83	48.53	0.28	35.13	165.55
1.79	48.00	50.88	8.31	48.12	0.01	41.86	37.73	47.68	0.10	34.85	172.81
1.74	47.50	49.97	6.10	47.39	0.01	41.29	38.62	46.84	0.44	34.57	167.15
1.69	45.50	49.05	12.61	46.68	1.38	40.73	22.75	46.00	0.25	34.28	125.80
1.64	45.50	48.12	6.88	45.96	0.21	40.19	28.20	45.17	0.11	33.99	132.45
1.59	45.20	47.18	3.93	45.25	0.00	39.66	30.64	44.34	0.75	33.69	132.42
1.55	45.00	46.23	1.51	44.54	0.21	39.15	34.19	43.50	2.24	33.39	134.85
1.51	44.00	45.26	1.58	43.83	0.03	38.66	28.57	42.67	1.76	33.08	119.35
1.48	44.00	44.27	0.07	43.12	0.78	38.17	33.99	41.84	4.68	32.75	126.47
1.44	43.00	43.26	0.07	42.40	0.36	37.70	28.13	41.00	4.02	32.42	111.87
1.40	43.00	42.22	0.61	41.68	1.75	37.23	33.24	40.15	8.14	32.08	119.21
1.37	42.50	41.16	1.81	40.95	2.41	36.78	32.68	39.29	10.31	31.73	116.04
1.34	42.50	40.06	5.97	40.21	5.26	36.34	37.91	38.42	16.66	31.36	124.10
1.31	41.40	38.92	6.16	39.45	3.78	35.91	30.12	37.53	14.96	30.98	108.66
1.28	38.70	37.73	0.93	38.69	0.00	35.49	10.30	36.63	4.30	30.57	66.04
1.26	38.50	36.50	4.01	37.90	0.36	35.08	11.71	35.70	7.87	30.15	69.73
1.23	38.30	35.20	9.63	37.09	1.46	34.67	13.14	34.74	12.70	29.70	73.96

	EST. BASE	NORMAL		LOG - NORMAL		PEARSON III		GUMBEL		LOG - PEARSON III	
Tr	Xo	Xe		Xe		Xe		Xe		Xe	
AÑOS	(mm)	(mm)	(Xe-Xo)^2	(mm)	(Xe-Xo)^2	(mm)	(Xe-Xo)^2	(mm)	(Xe-Xo)^2	(mm)	(Xe-Xo)^2
1.20	37.50	33.82	13.54	36.25	1.55	34.28	10.37	33.74	14.14	29.22	68.55
1.18	35.00	32.35	7.01	35.38	0.15	33.89	1.23	32.70	5.29	28.71	39.63
1.16	34.00	30.77	10.42	34.47	0.22	33.51	0.24	31.60	5.74	28.15	34.28
1.13	34.00	29.05	24.50	33.50	0.25	33.14	0.74	30.44	12.70	27.53	41.86
1.11	32.00	27.14	23.58	32.45	0.21	32.77	0.60	29.18	7.97	26.84	26.60
1.09	31.00	24.99	36.13	31.31	0.10	32.42	2.01	27.79	10.29	26.06	24.40
1.07	31.00	22.48	72.55	30.04	0.92	32.06	1.13	26.23	22.74	25.14	34.33
1.05	27.50	19.43	65.10	28.56	1.11	31.72	17.80	24.40	9.61	24.01	12.15
1.04	25.00	15.42	91.75	26.72	2.95	31.38	40.70	22.10	8.42	22.53	6.13
1.02	21.00	9.19	139.58	24.09	9.56	31.05	100.93	18.74	5.12	20.21	0.62
ERROR		Σ =	3993.23	Σ =	2111.36	Σ =	3416.16	Σ =	1765.2 3	Σ =	34831.94

Tabla 5-12 resumen de ajuste a diversas funciones de distribución

En la figura 5-19 se muestra el ajuste de distribución de precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno.

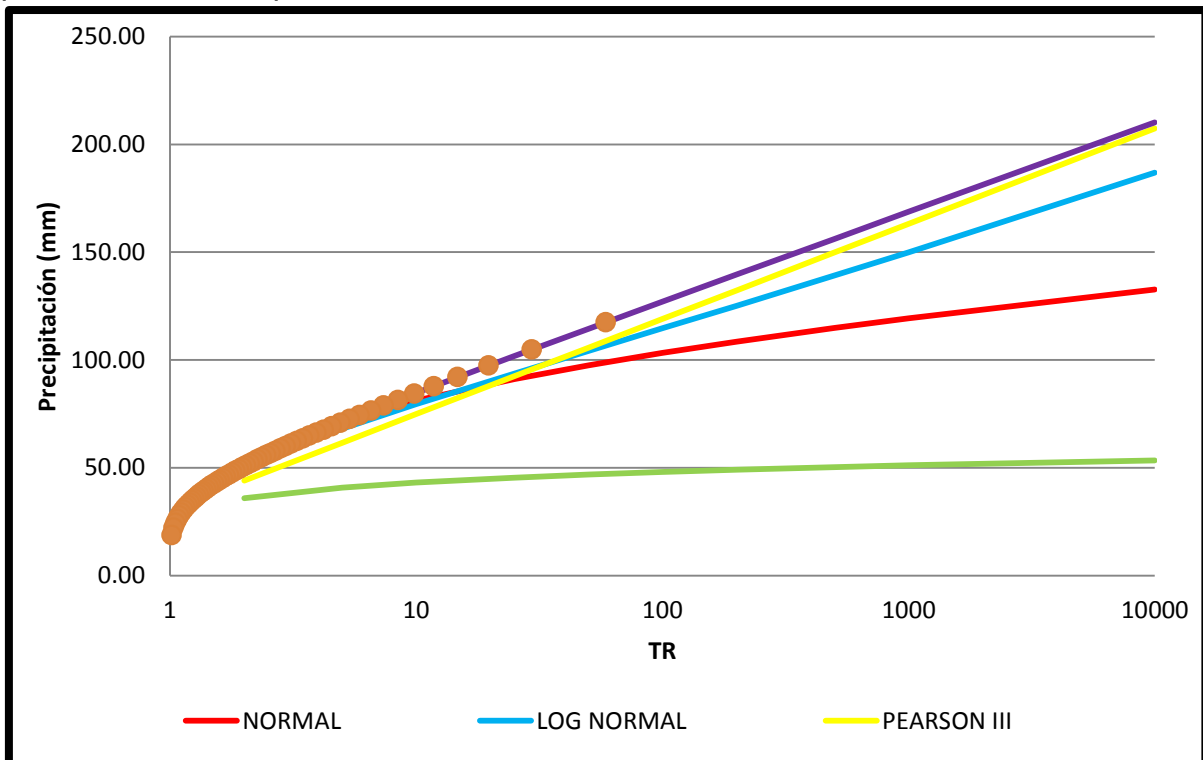


Figura 5-19 Ajuste de distribución de Precipitaciones máximas en mm para periodos de retorno de 0 a 10,000 años de la estación La piedad

a) Función de Distribución Que Mejor Ajusta

La función de distribución que mejor ajusta a las estaciones corrales y La Piedad es la Gumbel.

Tr (años)	PRECIPITACIÓN (mm) 24 horas
2	49.51
5	64.75
10	74.83
25	87.59
50	97.04
100	106.42
200	115.77
500	128.07
1000	137.43
10000	168.39

Precipitación a diferentes periodos de retorno con la distribución Gumbel estación Corrales

Tr (años)	PRECIPITACIÓN (mm) 24 horas
2	50.70
5	71.15
10	84.59
25	101.79
50	114.48
100	127.08
200	139.62
500	156.18
1000	168.69
10000	210.24

Precipitación a diferentes periodos de retorno con la distribución Gumbel estación La piedad

b) Traslado de Datos al Centro de Gravedad

Transferencia de la información hidrológica de la estaciones 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 Gumbel, para las estaciones base $P_{d=24horas}^{Tr=2años}$, $P_{d=24horas}^{Tr=100años}$, $P_{d=24horas}^{Tr=500años}$

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.

$$R4 = 1.3$$

Con este procedimiento, se obtiene la $P_{d=24horas}^{Tr=2años}$, $P_{d=24horas}^{Tr=100años}$... A continuación se presentan los factores de corrección y de la precipitación máxima 24 horas para las cuencas, traslados de la estación base.

CUENCA EL TIGRE		
CORRECCIÓN POSICIÓN	P _G	768.60 mm
	P _{cuenca(CG)}	753.00 mm
	P _{cuenca(I)}	754.50 mm
	R1	0.9797
	R2	0.9816
CORRECCIÓN POR ÁREA	A	121.481 Km ²
	R3	0.8609
CORRECCIÓN POR OBSERVACION	R4	1.13

Coeficientes de corrección para la cuenca El Tigre.

Tr	Precipitación máxima (mm) 24 horas
2	47.19
5	64.71
10	71.32
25	83.47
50	92.49
100	101.43
200	110.34
500	122.10

Tr	Precipitación máxima (mm) 24 horas
1,000	130.99
10,000	160.49

Precipitación máxima 24 horas en mm, para la cuenca El Tigre

CUENCA 5 OROS		
CORRECCIÓN POSICIÓN	P_G	852.08 mm
	$P_{cuenca(CG)}$	813.50 mm
	$P_{cuenca(I)}$	814.55 mm
	R1	0.9547
	R2	0.9559
CORRECCIÓN POR ÁREA	A	18.750 Km ²
	R3	0.9151
CORRECCIÓN POR OBSERVACION	R4	1.13

Coefficientes de corrección para la cuenca 5 Oros.

Tr	Precipitación máxima (mm) 24 horas
2	50.06
5	70.24
10	83.61
25	100.50
50	113.02
100	125.46
200	137.85
500	154.19
1,000	166.19
10,000	207.56

Precipitación máxima 24 horas en mm, para la cuenca 5 Oros

CUENCA ARROLLO HONDO		
CORRECCIÓN POSICIÓN	P_G	852.08 mm
	$P_{cuenca(CG)}$	858.08 mm
	$P_{cuenca(I)}$	859.19 mm
	R1	1.007
	R2	1.0071
CORRECCIÓN POR ÁREA	A	1.406 Km ²
	R3	0.9901
CORRECCIÓN POR OBSERVACION	R4	1.13

Coefficientes de corrección para la cuenca Arrollo hondo.

Tr	Precipitación máxima (mm) 24 horas
2	57.13
5	80.17
10	95.42
25	114.69
50	128.99
100	143.19
200	157.32
500	175.82
1,000	190.07
10,000	236.88

Precipitación máxima 24 horas en mm, para la cuenca Arrollo Hondo.

c) Determinación de las $i - d - tr$

Curvas Intensidad-Duración-Periodo de Retorno (I-d-Tr)

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

Se denomina curvas intensidad – duración – periodo de retorno (I-d-Tr), 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 .

En las siguientes figuras (5-20, 5-21 y 5-22) se muestra las curvas correspondientes a cada una de las cuencas.

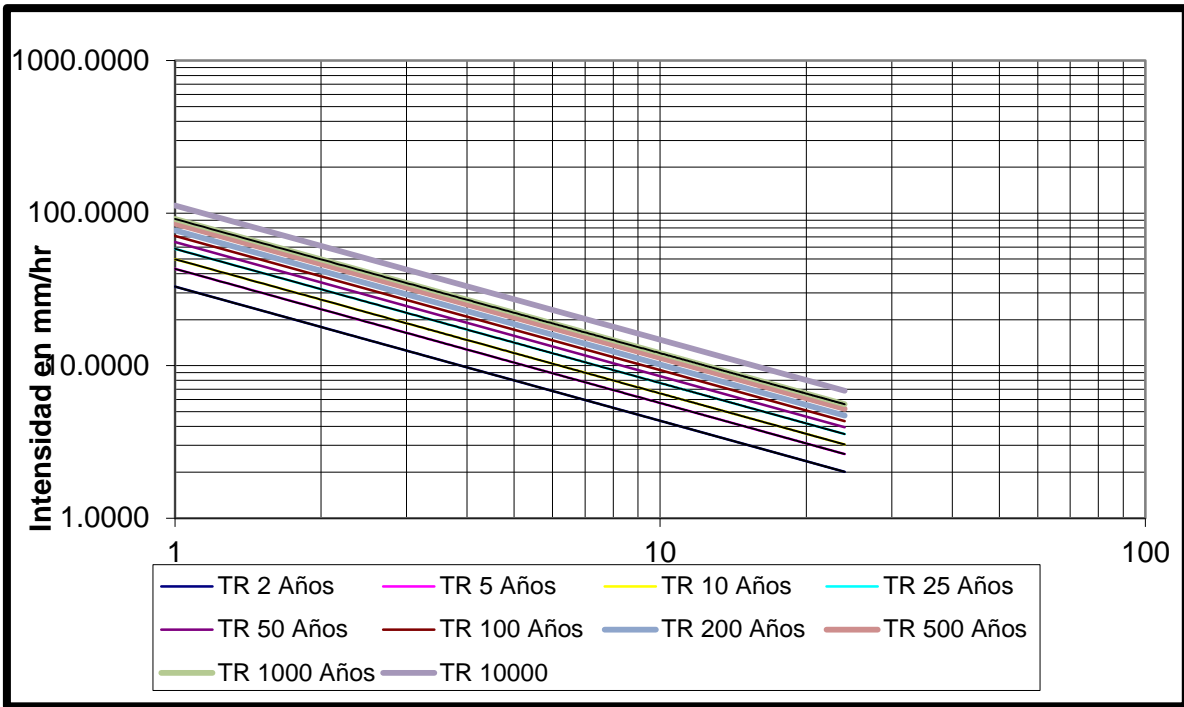


Figura 5-20 Curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno (I-d-Tr) Cuenca El Tigre

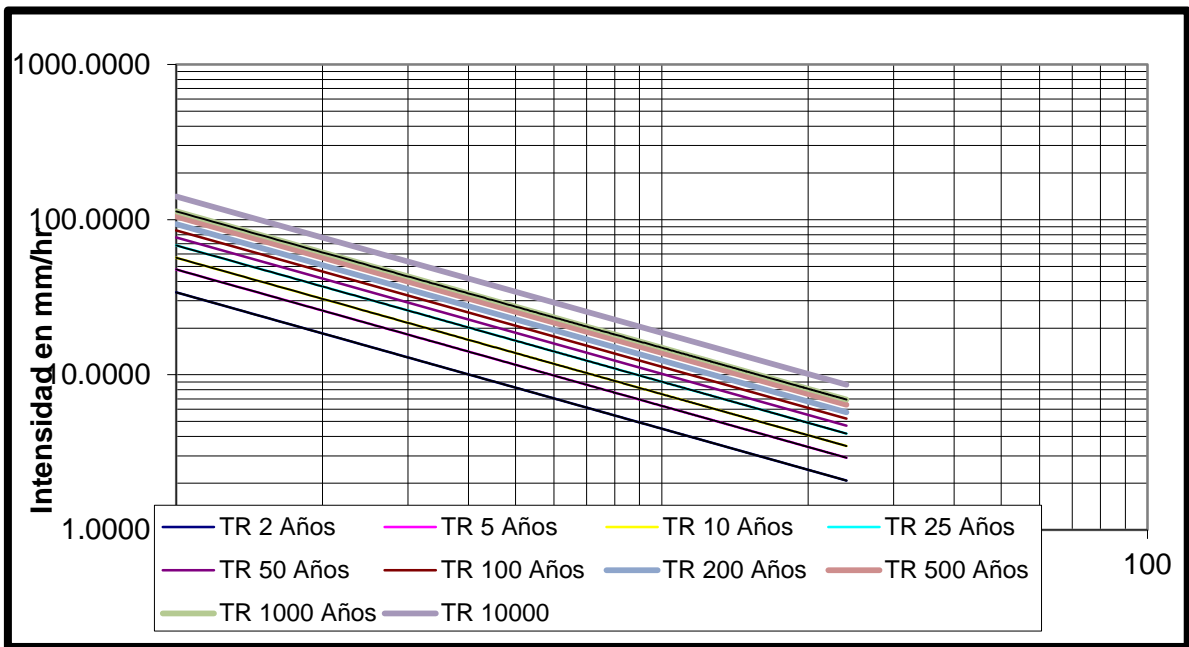


Figura 5-21 Curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno (I-d-Tr) Cuenca 5 Oros

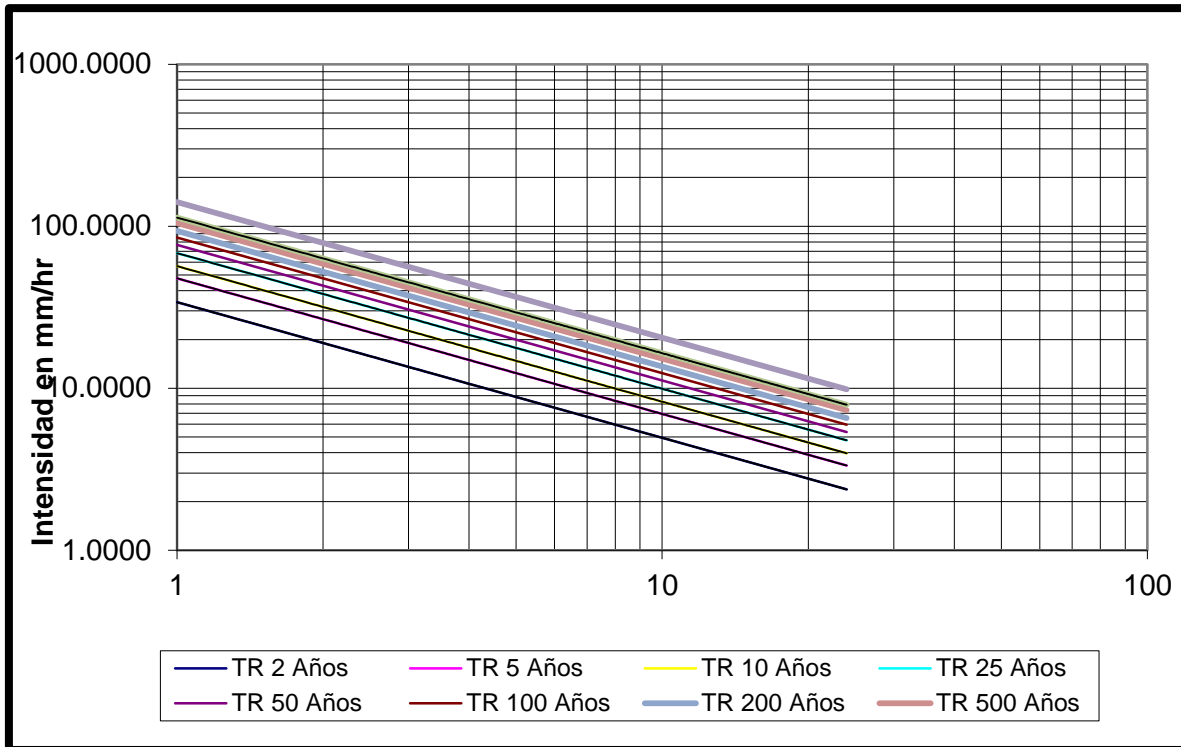


Figura 5-22 Curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno (I-d-Tr) Cuenca Arrollo Hondo

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.

5.6.2.1 Métodos Lluvia-Escorrimento

En este estudio se evaluaron varios métodos cuya descripción se desarrolla en este apartado y más adelante se emplean tres métodos para la cuenca en estudio.

a) Métodos Empíricos

Dentro del grupo de métodos empíricos que se aplicaron a la cuenca, se tiene el Método Racional y el Método de Envolventes.

I) 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_c), 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 $Q_p=iA_c$. Sin embargo, la existencia de detención de agua o precipitación interceptada, hace necesario considerarla mediante un coeficiente un coeficiente de escorrentía denominado C , calculado con la NOM011. Este coeficiente toma valores de 0 a 1

$$Q_p = 0.278 C i A$$

Donde:

- Q_p Gasto punta, en m^3/s
- C Coeficiente de escorrentía, adimensional
- i intensidad de la precipitación, mm/h (se obtiene de Curva I_dTr , para $d=t_c$ y diferentes Tr)
- A superficie de la cuenca, en Km^2 (se obtiene del estudio geomorfológico)

II) Método de Envolventes

Formula de Creager

La idea fundamental de estos métodos es relacionar el gasto máximo Q con el área de la cuenca A_c en la forma:

$$Q_p = q A$$

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

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

FÓRMULA DE LOWRY

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

Donde:

C_L es un coeficiente empírico.

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

b) Métodos Hidrológicos

Dentro del grupo de métodos hidrológicos que se emplean a la cuenca se tienen, el método del Hidrograma Unitario Triangular y el método de Chow; todos los métodos hidrológicos utilizados se identifican como métodos de Hidrograma Unitario Sintético.

I) Método Hidrograma Unitario Triangular

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

$$Q_t = q_p P_e$$

Donde:

Q_t Gasto de diseño, en m^3/seg

q_p Gasto unitario pico, en $\text{m}^3/\text{seg}/\text{mm}$

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

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

t_p Tiempo pico, en horas

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

- t_c Tiempo de concentración, en horas (se obtiene al inicio de este apartado)
 D Duración en exceso o efectiva de la tormenta, en horas
 P_e Precipitación en exceso, en cm

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

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

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

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

- N Número de escurrimiento (N)

II) Método de Chow

$$Q_p = q_p P_e$$

Donde:

- Q_p Gasto Pico, en m^3/s
 q_p Gasto unitario pico, en $m^3/s/mm$.

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

- A Superficie de la cuenca, en km^2 (se obtiene del estudio geomorfológico)
 D Duración en exceso o efectiva de la tormenta, en horas
 Z Factor de reducción del pico, adimensional, se obtiene de 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

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

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

5.6.3 Gastos Máximos Para Diferentes Periodos de Retorno

Empleando los diferentes métodos presentados en el apartado anterior se obtienen los gastos máximos de las cuencas, para los periodos de retorno seleccionados. Los resultados de cada uno de los métodos se presentan en las siguientes Tablas (5-13, 5-14 y 5-15).

- **Cuenca Arroyo Hondo**

Método empleado	Periodo de retorno en años								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
	Q máximo (m³/s)								
Racional	2.69	3.77	4.49	5.4	6.07	6.74	7.41	8.28	8.95
Creaguer	74.2								
Lowry	16.04								
Chow	5.73	12.54	17.9	25.31	31.16	37.2	43.41	51.86	58.46
Hidrograma Unitario	Triangular								
	9.24	17.88	24.14	32.39	38.68	45.02	51.4	59.89	66.35

Tabla 5-13 Gastos Máximos río Las Cruces para diferentes métodos y diferentes periodos de retorno

- **Cuenca 5 de Oros**

Método empleado	Periodo de retorno en años								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
	Q máximo (m³/s)								
Racional	32.82	46.05	54.81	65.88	74.1	82.25	90.37	101.1	109.19
Creaguer	651.5								
Lowry	202.53								
Chow	32.3	63.38	86.41	117.4	141.33	165.75	190.58	224	249.54
Hidrograma Unitario	Triangular								
	47.91	90.74	121.98	163.5	195.24	227.43	260	303.5	336.75

Tabla 5-14 Gastos Máximos río Las Cruces para diferentes métodos y diferentes periodos de retorno

- **Cuenca El Tigre**

Método empleado	Periodo de retorno en años								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
	Q máximo (m³/s)								
Racional	187.5	245.31	283	331.8	367.6	403.2	438.6	485.4	520.7
Creaguer	2280.4								
Lowry	1006.4								
Chow	60.72	106.9	141.3	187.7	223.9	260.9	298.7	349.9	389.28
Hidrograma Unitario Triangular	70.2	120.9	161.7	213.8	254.9	296.7	337.7	395.8	440.24

Tabla 5-15 Gastos Máximos río Las Cruces para diferentes métodos y diferentes periodos de retorno

Para nuestro estudio de generación de mapas utilizaremos los gastos más desfavorables correspondientes al Hidrograma Unitario Triangular para cada uno de las cuencas.

5.7 Funcionamiento Hidráulico del Sistema Fluvial de la Piedad

5.7.1 Funcionamiento Hidráulico Aplicado a las Cuencas de la Piedad

La simulación hidráulica puede entenderse, como el uso de una representación matemática del sistema real (denominado modelo matemático), con el que se pretende aumentar su comprensión, hacer predicciones y posiblemente ayudar a controlar el sistema utilizándose como base el cálculo hidráulico.

El modelado de flujo unidimensional en ríos y canales es una potente herramienta para proyectos de investigación o de ingeniería en los que se necesita conocer la distribución de caudales y niveles a lo largo de un sistema fluvial.

Como se presento anteriormente, el software a utilizar es el HEC-RAS, a continuación se presentan las consideraciones, que se hicieron a la hora de plantear el modelo, esto se refiere a las hipótesis que fueron tomadas en cuenta.

Antes de consultar la información requerida por el programa se tienen que hacer varias consideraciones acerca del planteamiento del problema y de las limitaciones del programa.

Para aplicar el modelo se considero como elemento del sistema fluvial de la piedad, el rio Lerma, arroyo del tigre, arroyo cinco de oros y arroyo hondo, además de la corriente artificial que corta el meandro.

Los caudales que conducen los cauces están asociados a diferentes periodo de retorno (2, 100, y 500) y no incluye el gasto aportado por el sistema de alcantarillado de la ciudad de la Piedad.

5.7.2 Información Requerida

Los modelos de lecho fijo requieren información hidráulica, sedimentológica, topográfica y de calibración. En este tipo de modelos el sedimento no se emplea para calcular el arrastre, pero sí para evaluar las condiciones de rugosidad.

5.7.3 Datos de Entrada

Para alimentar el modelo HEC-RAS para una simulación de flujo uniforme adimensional, se requiere un mínimo de datos. A continuación se presenta un listado de los datos de entrada que se necesitan para lograr hacer la simulación.

1) Características Geométricas del Canal

Dimensiones del canal

Forma de la sección transversal

Dimensiones de las estructuras de control (Vertedores, Puentes, etc.)

2) Características Hidráulicas

Coefficiente de Rugosidad (Manning o Chezy)

3) Características Topográficas del Flujo Estudiado

Distancias y alturas acotadas frente a un nivel de referencia del perfil de la superficie libre de las diferentes secciones, lo cual ya está implícito en las coordenadas que describen la geometría de las secciones transversales.

5.7.4 Topografía

Los estudios Topográficos que se realizaron son: plantas topográficas de los ríos, secciones transversales y perfiles longitudinales de los bordos y del cauce, topografía de detalle en confluencias y entradas de agua, secciones transversales de las estructuras existentes.

a) Planta Topográfica

Para realizar la planta topográfica de la zona de estudio, se trazaron poligonales de apoyo en cada uno de los ríos mencionados.

En total se trazaron 10,801.18 m de poligonal de apoyo, empleando para ello una estación total en la tabla 01 siguiente se presenta el desglose de las longitudes de las poligonales levantadas para cada uno de los ríos. Resumen de trazo de poligonales de apoyo para los ríos. Tabla (5-16).

RIO	CADENAMIENTO		LONGITUD (MTS)
	DESDE	HASTA	
TRAMO 0	8+200	13+350	5150
TRAMO 0	0+000	2+850	2850
TRAMO 1	2+929.860	4+750	1820.14
TRAMO 3	4+768.965	5+750	981.035

Tabla 5-16 Cadenamiento y longitud de los tramos en estudio

Como se describió anteriormente se puede deducir que el río Lerma en el meandro natural tiene una longitud total de 10801.175 mts. Se realizaron secciones transversales de los bordos del cauce de los ríos antes mencionados, a cada distancias variables, muchas de ella a distancias de 50 metro así como las secciones de los puentes existentes sobre los ríos. Las secciones transversales fueron obtenidas normales al flujo del río.

5.7.5 Gastos Obtenidos Por el Estudio Hidrológico

El estudio de hidrología nos permitió determinar el gasto de diseño asociado a diferentes periodos de retorno, que probablemente ocurran en el meandro del río Lerma y sus afluentes (barranca del Tigre, Arroyo cinco de oros y Arroyo Hondo). El objetivo de este estudio es la determinación de los gastos de diseño correspondientes a diferentes periodos de retorno de 2,100 y 500 años.

De acuerdo al estudio de hidrología se obtuvieron los hidrogramas para cada uno de los ríos y para cada periodo de retorno. En la siguiente tabla se muestra un resumen de los gastos asociados a un período de retorno para cada uno de los ríos utilizado para la modelación.

RIO	PERIODOS DE RETORNO		
	2	100	500
A. HONDO	9.24	45.02	59.89
CINCO DE OROS	47.91	227.43	303.5
EL TIGRE	70.2	296.7	395.81

5.7.6 Coeficientes de Rugosidad de Manning

Como es sabido el coeficiente de rugosidad de Manning es una propiedad que describe la rugosidad del cauce, para determinar este coeficiente, se puede hacer de varias maneras, para este caso, se determinó con la ayuda de la granulometría obtenida del estudio de geotecnia. Además de la observación de diferentes secciones del lugar, para nuestra modelación escogimos un Manning de 0.045 ya que corresponde a un terreno naturalmente excavado. Como podemos observar en la figura 5-23

	COEFICIENTE DE MANNING
CUNETAS Y CANALES SIN REVESTIR	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0.020-0.025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0.025-0.035
En tierra con ligera vegetación	0.035-0.045
En tierra con vegetación espesa	0.040-0.050
En tierra excavada mecánicamente	0.028-0.033
En roca, superficie uniforme y lisa	0.030-0.035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0.035-0.045
CUNETAS Y CANALES REVESTIDOS	
Hormigón	0.013-0.017
Hormigón revestido con gunita	0.016-0.022
Encachado	0.020-0.030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0.017-0.020
Paredes encachadas. Fondo de grava	0.023-0.033
Revestimientos bituminosos	0.013-0.016
CORRIENTES NATURALES	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente	0.027-0.033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente, algo de vegetación	0.033-0.040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0.035-0.50
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0.060-0.080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0.100-0.200
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0.050-0.080
Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario	0.030-0.200

Figura 5.23 Coeficientes de Manning Tabla tomada de S.M Woodward and C. J Posey

Como se puede observar en la siguiente imagen 5-23 se puede considerar un canal excavado en terreno natural, lo cual corresponde a un coeficiente de Manning de 0.045.



Figura 5-23 Cauce del río Lerma

Para realizar el cálculo de perfiles de la superficie de agua, así como las propiedades hidráulicas de cada una de las secciones del río Grande y de sus afluentes, se requiere de introducir la información de la geometría de los cauces, de las obras de cruce, así como de los datos hidráulicos del sistema fluvial, como se explica a continuación.

5.7.7 Modelación del Sistema Fluvial de la Piedad

Lo primero que se hace, para llevar a cabo la simulación con el programa Hec-Ras, es la alimentación del modelo como se describe en seguida. Para introducir los datos del sistema fluvial de la piedad en el programa HEC-RAS, se dividió el río Lerma en tres tramos diferentes los cuales son: tramo 0, tramo 1 y tramo 3. En la siguiente (figura5-24) se ilustra los puntos de unión entre los diferentes tramos del río Lerma y sus afluentes.

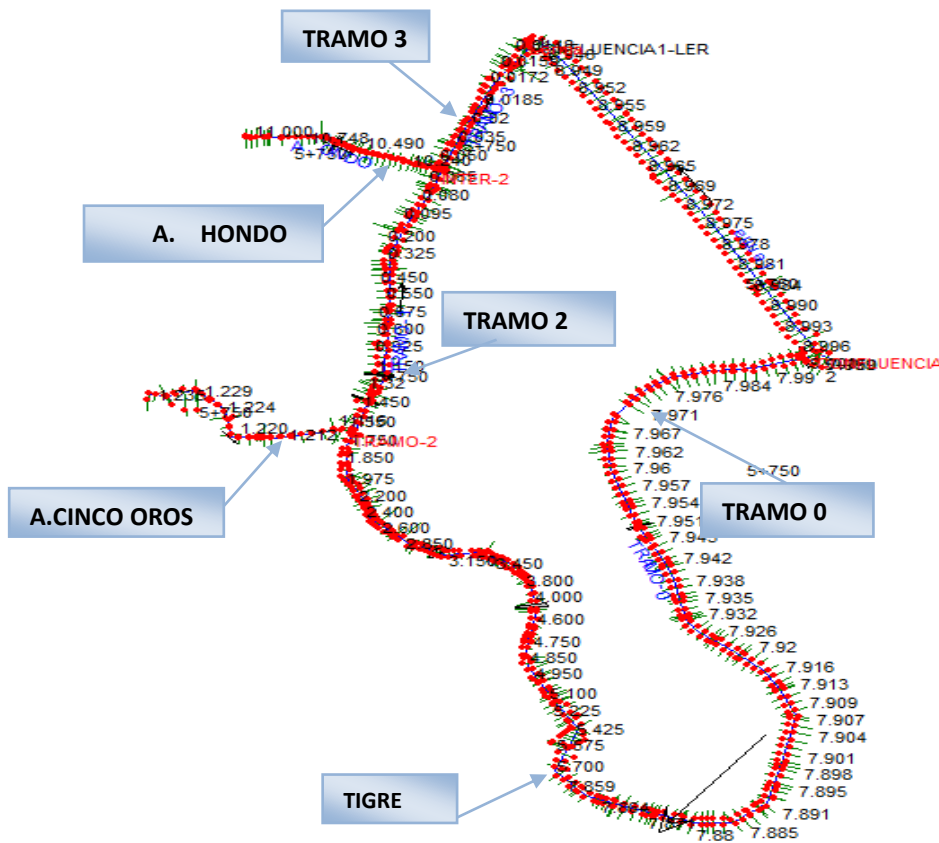


Figura 5-24 Esquema del sistema fluvial del meandro de la piedra

Como lo ilustra la (figura 5-24) el primer tramo del meandro (rio Lerma) se une con el río A. TIGRE estos a su vez siguen en el tramo cero pero ahora sigue el cadenamamiento 13+100; después este tramo se une con el A. CINCO DE OROS y al TRAMO 2 en el cadenamamiento 2+950; después dicho tramo se une con él A. HONDO y finalmente; con el TRAMO 3 del meandro del rio Lerma en el cadenamamiento 4+750. Unas vez se tiene el esquema del sistema fluvial se procede a introducir la geometría de las secciones transversales.

En la siguiente (figura 5-25) se ilustra la ventana de HEC-RAS que nos permite introducir las propiedades de cada una de las secciones.

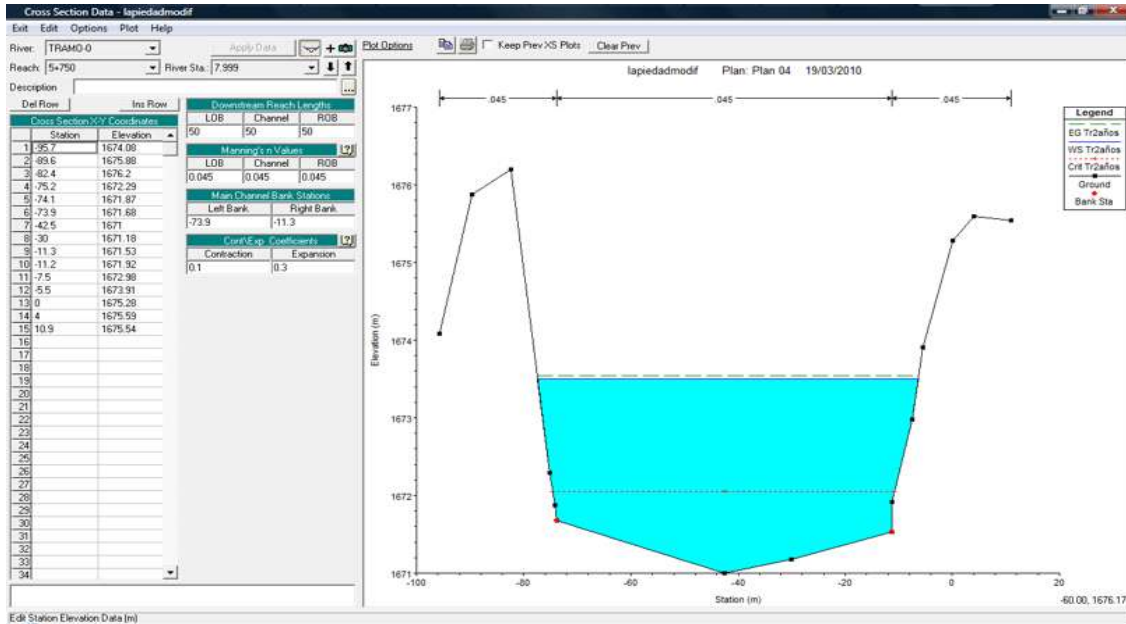


Figura 5-25 Editor de datos para cada una de las secciones transversales

5.7.7.1 Puentes

En la modelación del río Lerma, se tiene puentes y compuertas en los diferentes tramos, en el tramo 0, se tiene la compuerta al inicio (figura 5-26), y después aguas abajo se tienen 5 puentes (figura 5-27 y 5-28).



Figura 5-26 Compuerta de entrada



Figura 5-27 Puentes



Figura 5-28 Puentes

El editor de Hec-ras permite introducir la geometría de la sección transversal de los puentes por medio de puntos (coordenadas), de la misma manera en la que se define la geometría de una sección transversal (Figura 5-29).

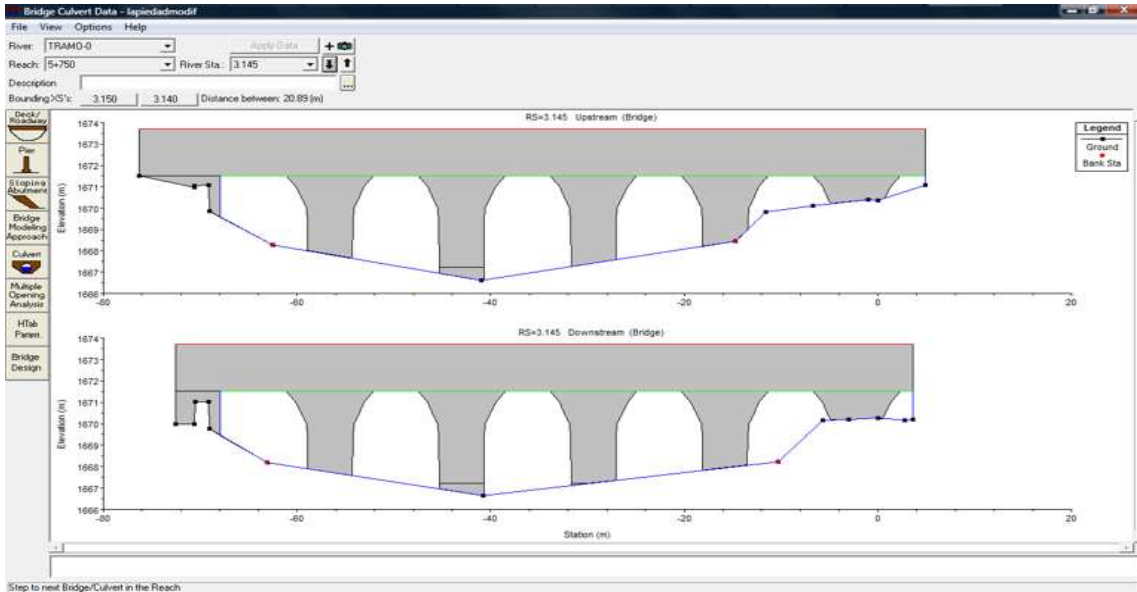


Figura 5-29 Editor de datos para puentes

Para establecer las condiciones de frontera, se utiliza la ventana que se ilustra en la figura siguiente, el Hec-Ras permite utilizar cuatro posibles tipos de condiciones de frontera que son: elevación del agua conocida, tirante crítico, pendiente promedio de la superficie y por ultimo Rating Curve.

En nuestro caso la condición de frontera que se utilizó fue la pendiente promedio de la superficie "Normal Depth "con un valor de 0.000421 (Figura 5-30).

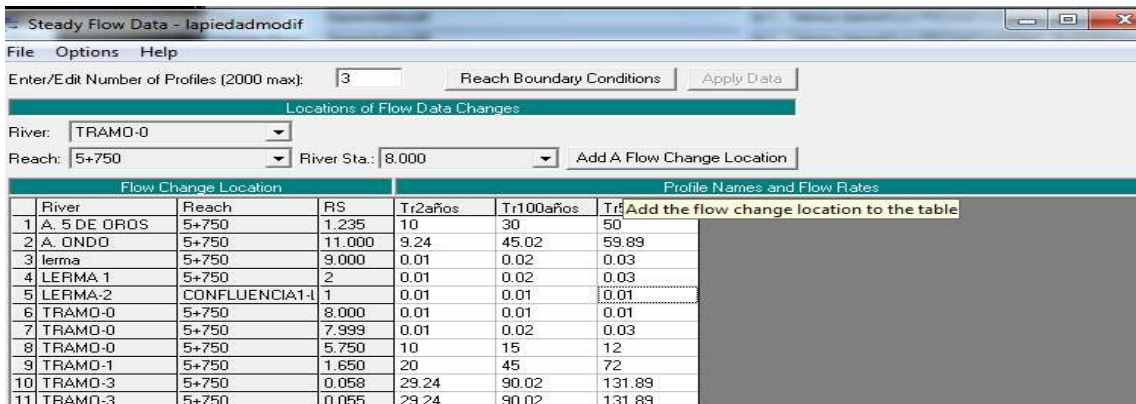


Figura 5-30 Entrada de condición de frontera aguas abajo del tramo 0 del rio Lerma

Esta ventana además nos presenta los gastos introducidos en la modelación para cada uno de los escenarios. Para la modelación se propusieron diferentes

escenarios respecto a diferentes periodos de retorno. Como se puede ver es para 2, 100 y 500 años.

Para la modelación se propusieron diferentes escenarios respecto a diferentes periodos de retorno.

5.7.8 Calibración del Modelo

Es necesario introducir en el modelo la superficie libre del agua observada (de campo) en las diferentes secciones que conforman los ríos del sistema fluvial, esto es necesario para poder llevar a cabo la calibración del modelo.

Una vez introducidos los valores antes mencionados, se realiza la calibración y validación del modelo, esto consiste en igualar la superficie libre del agua observada con la superficie libre del agua calculada, lo cual se realiza ajustando los coeficientes de rugosidad de Manning de las secciones transversales de los cauces.

En nuestro caso la calibración del modelo se desarrolló con la información de niveles de superficie de agua que se midieron cuando se hizo el levantamiento topográfico y también considerando aforos en diferentes secciones del meandro, como son en los cadenamientos 0+100, 0+350, 8+400 y 5+441.807, ubicadas en nuestro modelo en los siguientes tramos, Tramo 0 (5.6, 5.4 y 7.992), en el Tramo 3 (0.0172) respectivamente. Por otro lado la granulometría de los ríos ayudaron a tener valores de la rugosidad cercanos a las características reales, a partir de estos, se ajustaron nuevos valores al coeficiente de rugosidad de Manning, hasta que la superficie libre de agua calculada tenga la misma elevación de la observada. Se verificaron las elevaciones de la superficie de agua calculada con las elevaciones de la superficie de agua levantadas en campo u observadas (figura 5-31).

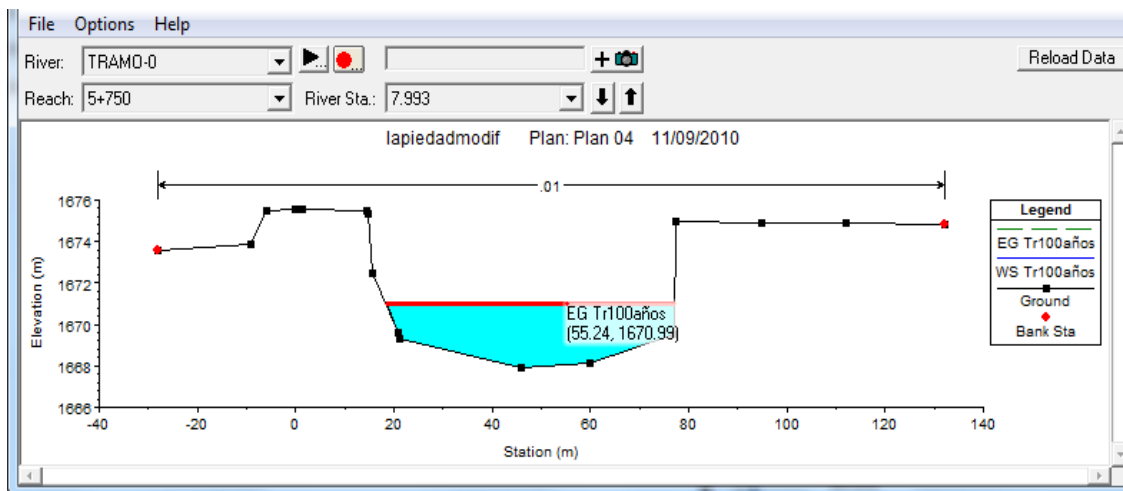


Figura 5-31 Calibración del modelo

5.7.9 Resultados

El análisis de resultados se detalla en el capítulo 9 ya que aquí solo se presentaría los cadenamientos inundados, es decir el kilometro donde se inunda, en cambio en el capítulo 9 se describe en cuales calles se presentan desbordamientos además de visualizarlo en imágenes satelitales.

6.- MODELOS DE FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO HEC-RAS

6.1 Modelación Hidráulica

http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_123_183_81_1150.pdf

La modelación se ha desarrollado notablemente en el campo de la hidráulica, existen evidencias de estudios de diseños hidráulicos realizados desde tiempos antiguos, mediante pequeñas representaciones de estructuras y máquinas, por los cuales se ha llegado a enunciar principios fundamentales en la hidráulica; sin embargo hasta hace poco tiempo la experimentación hidráulica se llevaba a cabo habitualmente a escala real ya sea en vertederos, canales, tuberías y presas construidas sobre el terreno.

Es durante el último medio siglo, cuando se han desarrollado métodos por los cuales, como resultado de experimentos realizados en modelos a escala reducida, es posible predecir la conducta de una estructura o prototipo.

El sistema semejante reducido o simplificado es lo que llamamos modelo, frente a la realidad que llamamos prototipo.

Los principios en que se basa este procedimiento incluyen las teorías de similitud hidráulica. El análisis de las relaciones básicas de las diversas cantidades físicas incluidas en el movimiento y la acción dinámica del fluido denominada análisis dimensional.

En la actualidad, se diseñan y construyen pocas o ninguna estructura hidráulica importante, sin estudios preliminares de modelos, más o menos extensos.

6.1.1 Aplicación y Aporte de los Modelos Hidráulico

En hidráulica, la modelación se usa para la simulación de situaciones reales que se producen en el prototipo y cuyo comportamiento se desea conocer; puesto que modelo y prototipo están ligados el uno con el otro, las observaciones y estudio del modelo constituyen la información necesaria para comprender la naturaleza del prototipo, debiendo para ello, estar ambos relacionados.

Debido a que las simulaciones se producen bajo condiciones controladas de laboratorio los modelos hidráulicos tienen múltiples aplicaciones.

Tenemos que los modelos hidráulicos, se usan para la solución de problemas relacionados con las estructuras hidráulicas, fenómenos de infiltración o **tramos**

de ríos y recientemente con el transporte de sedimentos. Las principales características de cada uno de estos grupos son indicadas por sus nombres.

Los estudios en modelos de ríos son usados para resolver problemas de regulación de ríos o desarrollos hidroenergéticos, determinar el tiempo de desplazamiento de ondas de inundación por los cauces de los ríos, métodos para el mejoramiento de canales para la transmisión de inundaciones con menos riesgo de desbordamiento sobre las orillas, los efectos de los acortamientos de los ríos, efecto de diques, paredes de contención sobre la erosión de los lechos, altura de los remansos provocados por estructuras permanentes o temporales, construidas en medio de un cauce; dirección y fuerzas de corriente en ríos y puertos y sus efectos sobre la navegación etc.

Existen diversos software para la modelación hidráulica dependiendo en que condiciones queremos modelar como si el flujo es unidimensional o bidimensional, uniforme o variado y estacionario o variado (figura 6-1). (*Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones A Diez- Herrero*)

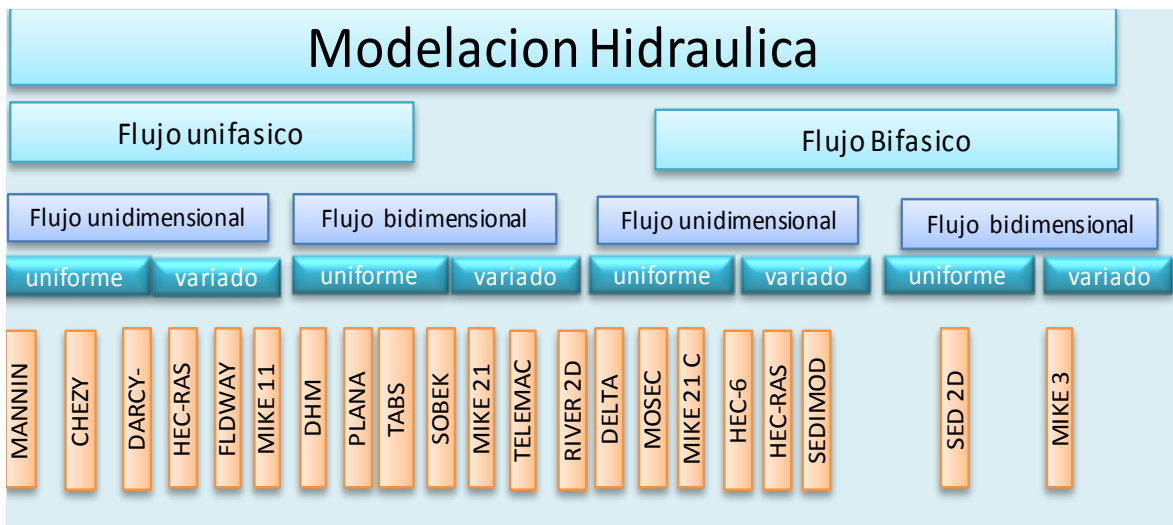


Figura 6-1 Diversos Software para Modelación Hidráulica

Para fines de este trabajo la modelación hidráulica la realizaremos como un flujo unifásico, flujo unidimensional y variado.

El modelo matemático utilizado en este caso ha sido el modelo **HEC-RAS** versión 3.1.3, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center de los US Army Corps of Engineers. Este modelo se ha diseñado para el cálculo de los perfiles de lámina de agua, para flujos permanentes, gradualmente variados y transportes de sedimentos, en estado de régimen subcrítico, mixto o supercrítico. La metodología del cálculo se basa en la resolución de la ecuación de balance de la energía en una dimensión mediante un proceso iterativo (standard step method), (U.S. Army Corps of Engineers: HEC-RAS Users Manual, Versión 3.1.3 May 2005).

6.1.2 La Apreciación Global

HEC-RAS es un paquete integrado de análisis hidráulico, programa en que el usuario actúa recíprocamente con el sistema a través del uso de una Interface Gráfica del Usuario (GUI). El sistema es capaz de realizar cálculos de los flujos de la superficie del agua, cálculos de flujo uniforme, e incluirá Flujo variado, Transporte del Sedimento, etc.

En la terminología de HEC-RAS, un Proyecto es un juego de archivos de datos asociados con un sistema de un río en particular. El modelador puede realizar cualquiera o varios tipos de análisis, incluido en el paquete de HEC-RAS, como parte del proyecto. Los archivos de datos para un proyecto se categorizan como sigue:

1. **Crear un proyecto nuevo**
2. **Introducir los datos geométricos**
3. **Introducir los datos hidráulicos: caudal y condiciones de contorno**
4. **Crear un plan seleccionando una geometría y unos datos hidráulicos y ejecutar la simulación**
5. **Ver los resultados**

Simulación Hidráulica Aplicada, Usando HEC-RAS Cada plan representa una simulación específica de datos geométricos y datos de flujo. Una vez introducidos los datos básicos en el HEC-RAS, el proyectista puede formular los nuevos planes fácilmente. Después de que las simulaciones son hechas para los varios proyectos, los resultados pueden compararse simultáneamente en la forma tabular y gráfica.

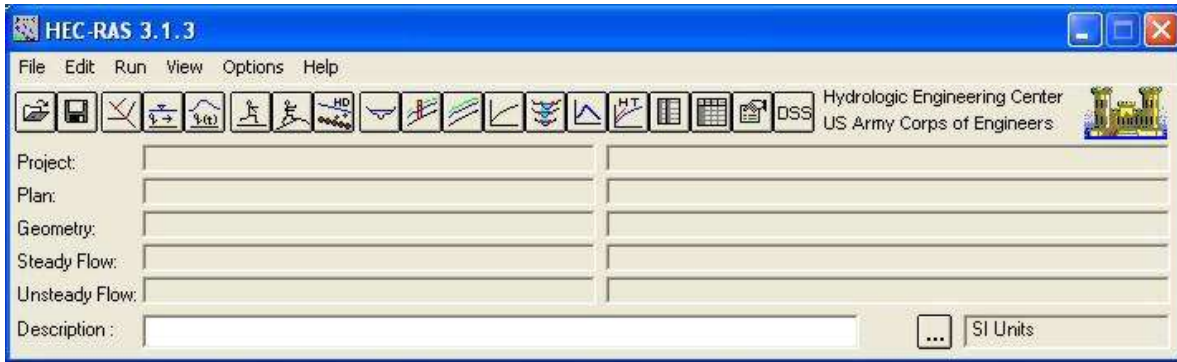
Los siguiente ítems nos proporcionan una apreciación global de cómo un estudio se realiza con el software de HEC-RAS.

Empezando con Hec-Ras

Para Empezar HEC-RAS de Windows:

Doble-pulse el botón en el Icono de **HEC-RAS**.

Veremos la Ventana Principal del programa



Esta ventana principal tiene las opciones siguientes en la barra del menú

File (archivo)

Esta opción se usa para el manejo de archivos. Las opciones disponibles bajo el menú del Archivo incluyen:

Nuevo Proyecto; Abrir Proyecto; Guardar el Proyecto; Guardar el Proyecto Como; Renombre el Proyecto; Borre el Proyecto; Resumen del proyecto, Importar los Datos de HEC-2; Importar los datos de HEC-RAS; Genere el Informe; Exportar datos GIS; Exporte to HEC-DSS, Restaurar Datos de Backup y Salida.

Además, los cinco proyectos recientemente abiertos se listarán al fondo del menú del Archivo a que permite al usuario rápidamente abra un proyecto en que se trabajó recientemente.(Figura 6-2)

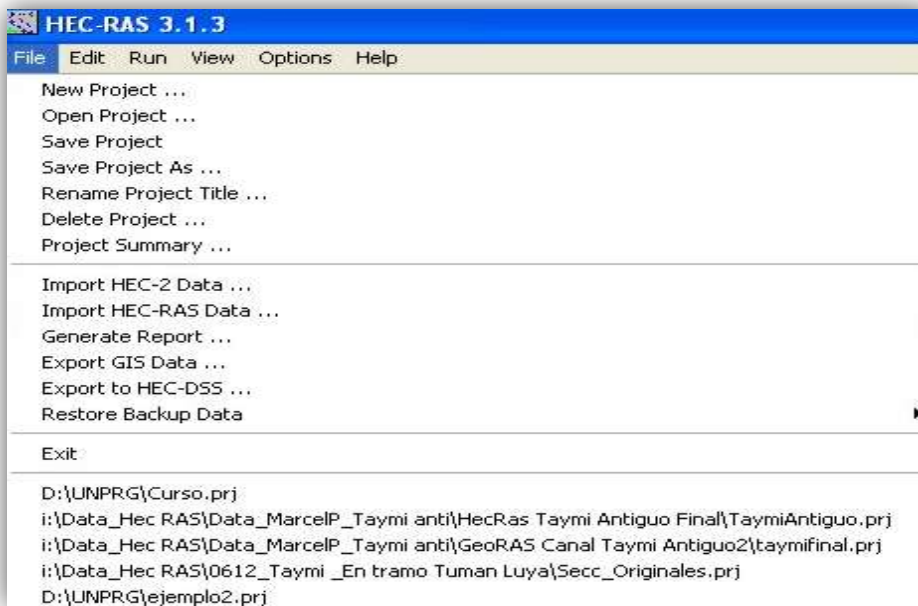
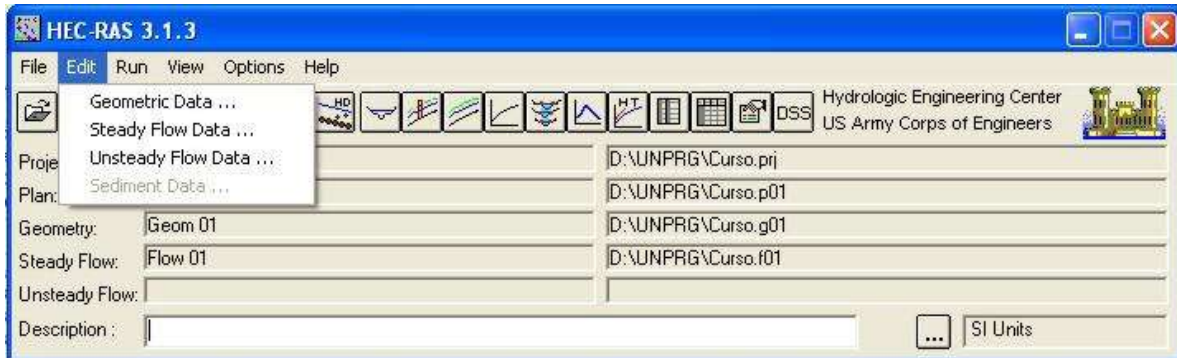


Figura 6-2

Edit (Editar)

Esta opción se usa por entrar y revisar los datos. Se categorizan los datos en cuatro tipos:

Datos geométricos; de Flujo Uniforme; de Flujo Variado; y de Sedimentos. En esta versión los datos de sedimentos no están activos como se observa en la siguiente ventana.



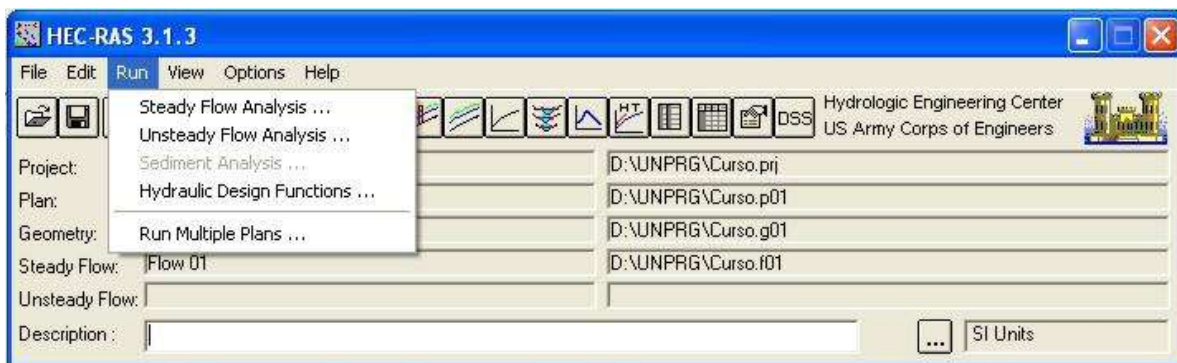
Run (Correr)

Esta opción se usa para realizar los cálculos hidráulicos. Las opciones bajo este artículo del menú incluyen:

- El Análisis de Flujo Uniforme
- El Análisis de Flujo Variado
- El Análisis del Sedimento; y
- Las Funciones de diseño Hidráulico.

Además de correr múltiples planes

En la versión actual el Análisis del Sedimento no están disponibles. Al seleccionar esta opción se despliega la siguiente ventana.



View (La vista)

Esta opción contiene un juego de herramientas que proveen ventanas gráficas y tabulares de los resultados del modelamiento. Los ítems del menú de View incluyen:

Las Secciones transversales.

Los Perfiles de Superficie de Agua.

Ploteo de perfiles en general.

Curvas típicas.

Vista en Perspectiva X-Y-Z.

Ver hidrográmas de caudal y tirante (solo cuando se ejecutan simulaciones con flujo no permanente)

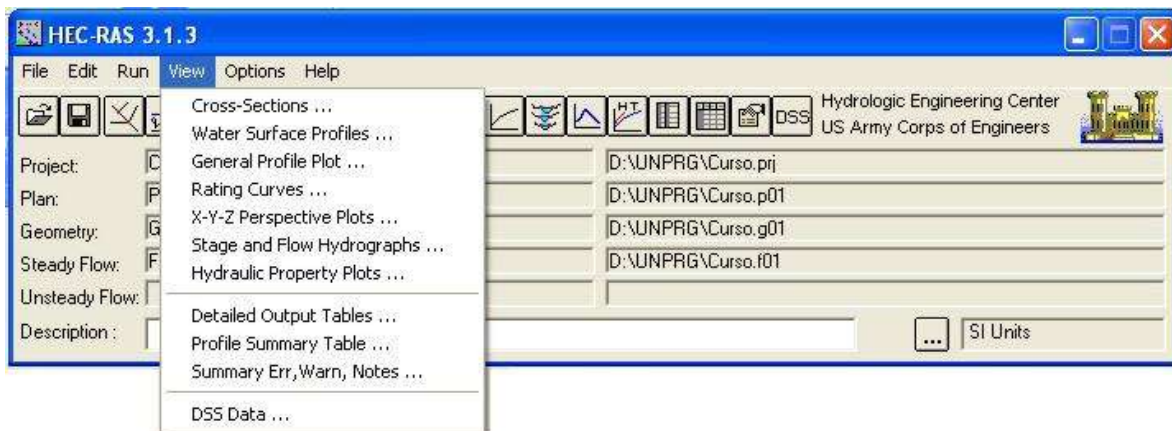
Ploteo de propiedades hidráulicas.

Tabla detallada de resultados.

Las tablas de las Secciones transversales;

Las tablas del Perfil; y el Resumen de errores, advertencias, y Notas.

Datos DSS (Todo ello se muestra en la siguiente ventana desplegada)



Options (opciones)

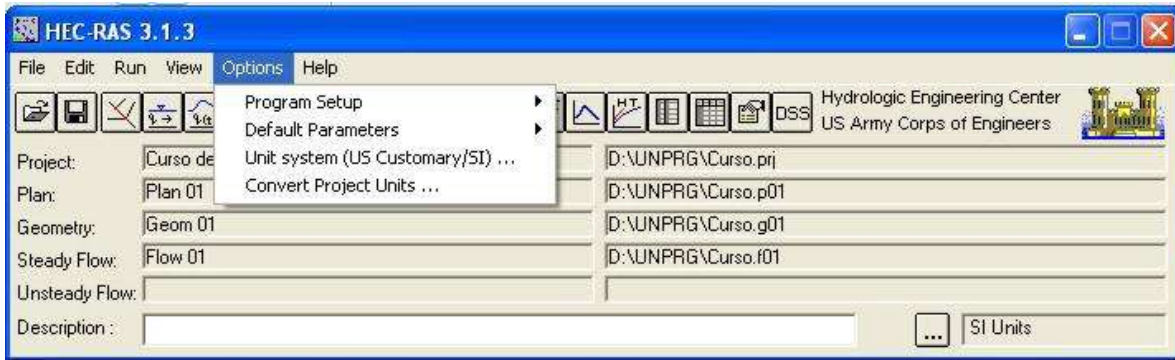
Este ítem del menú le permite al usuario cambiar las opciones en:

El Setup del Programa.

Los Parámetros Predefinidos.

Establecer el Sistema de las Unidades Predefinido (inglés o Métrico); y

Conversión de unidades del Proyecto (inglés a Métrico, o Métrico a inglés). (Como se puede ver en la ventana siguiente).



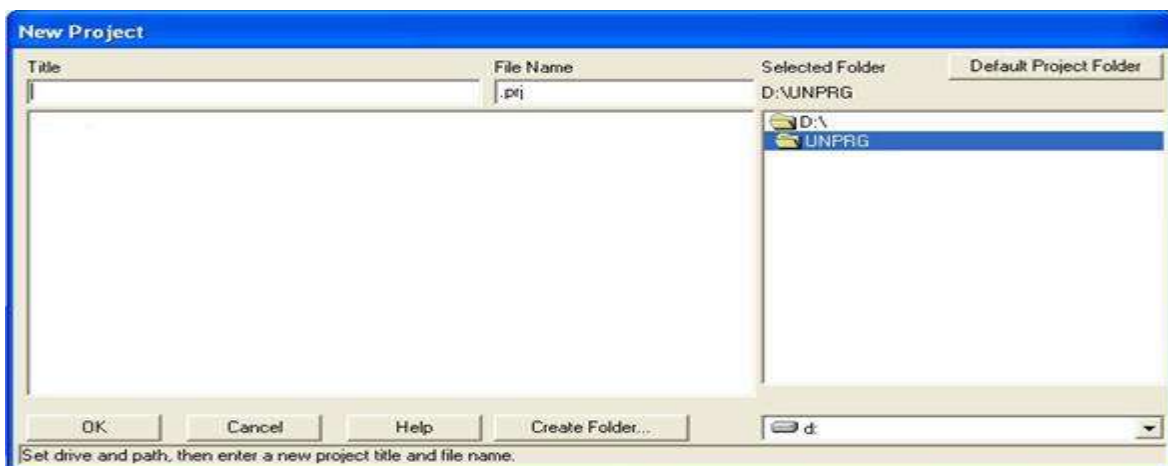
Help (ayuda)

Esta opción le permite al usuario conseguir las ayudas en línea, así como el despliegue la información de la versión actual sobre HEC-RAS.

6.2 Crear un Proyecto Nuevo o Abrir uno Existente

6.2.1.- Crear un Proyecto Nuevo

- El primer paso al desarrollar un modelo hidráulico con HEC-RAS es establecer qué directorio usted desea para trabajar e ingresar un título para el nuevo proyecto.
- Para empezar un nuevo proyecto, vaya al menú del Archivo en la ventana de HEC-RAS principal y seleccione el Nuevo Proyecto.
- El nombre del archivo del proyecto debe tener la extensión .prj, al usuario no se le permite cambiar esto.
- Una vez que usted ha entrado en toda la información, presione el botón "OK" para tener la información aceptada. (Se puede ver en la siguiente ventana)



- Una vez realizado esto, la ventana del mensaje aparecerá con el título del proyecto y el directorio donde se localizara el proyecto

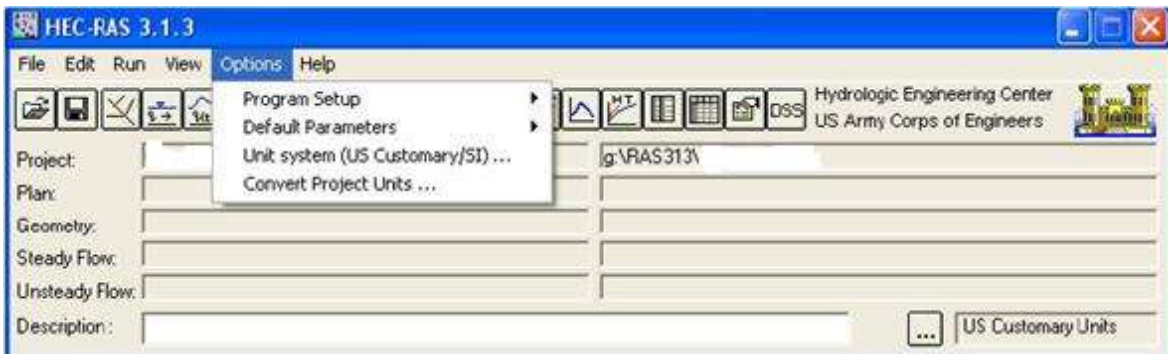


- Si esta información es correcta, apriete el botón de OK.

6.2.2.- Cambiar el Sistema de Unidades

Antes de cualquier ingreso de datos Geométricos y de Flujo, el usuario debe seleccionar el Sistema de las Unidades (inglés o Métrico) en el cual desea trabajar.

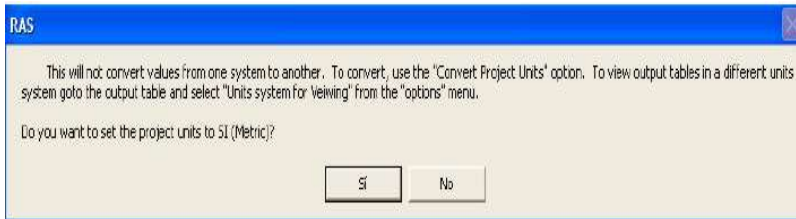
Esto se hace seleccionando el Sistema de la Unidad del menú de las Opciones en la ventana de HEC-RAS principal.



Aparecerá la ventana siguiente.



- Seleccionar la Opción System Internacional (Metric System)
- Si seleccionamos también “Set as default for new projects”, todos los proyectos nuevos que se creen serán con las Unidades del Sistema Internacional
- Ok para aceptar



Nos avisa que esa opción sólo configura el sistema de unidades pero NO CONVIERTE las unidades de un proyecto abierto.

6.2.3.- Ingreso de los Datos Geométricos

El próximo paso es ingresar en los datos geométricos necesarios que consisten en

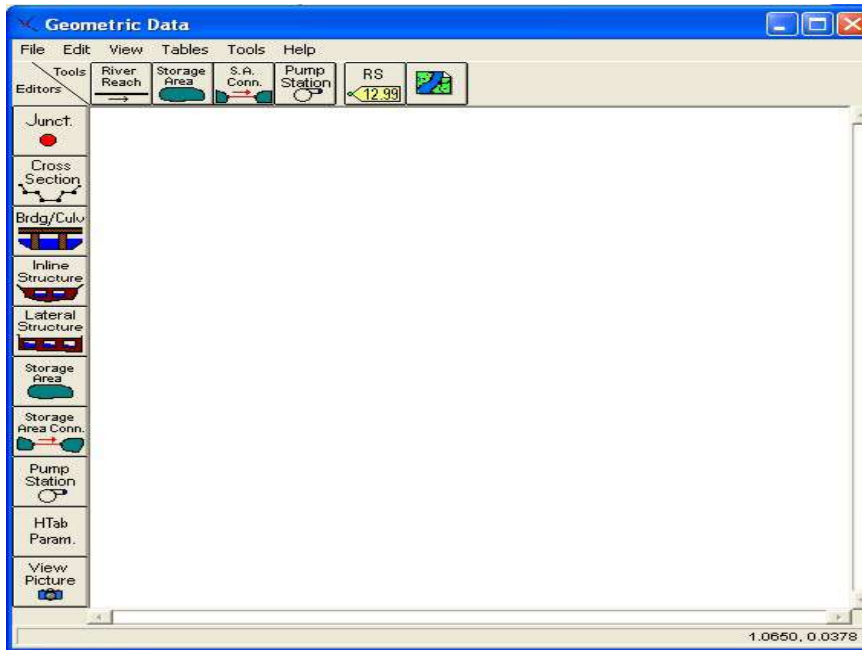
- La información para el esquema general del cauce (la Red del cauce),
- Datos de las secciones transversales,
- y los datos de las estructuras hidráulicas (los puentes, alcantarillas, los azudes, etc.).

Los datos geométricos son entrados seleccionando "Geometric Data" del menú Edit en la ventana principal de HEC-RAS.

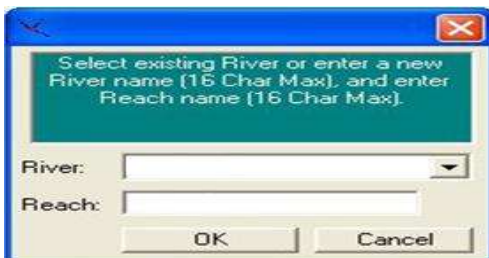
6.2.3.1.- Crear el Tramo

- El proyectista desarrolla los datos geométricos primero dibujando el esquema general del sistema (River systems chematic), que son unos trazos que representan el cauce del rio o canal a evaluar y trazando los tramos de aguas arriba hacia aguas abajo (en la dirección de flujo positiva).

Para ello en el programa nos aparecerá la siguiente ventana.



- Después de que el tramo es dibujado, se pregunta al usuario para entrar un identificador del Rio (River) y del tramo (Reach). Por medio de la siguiente ventana



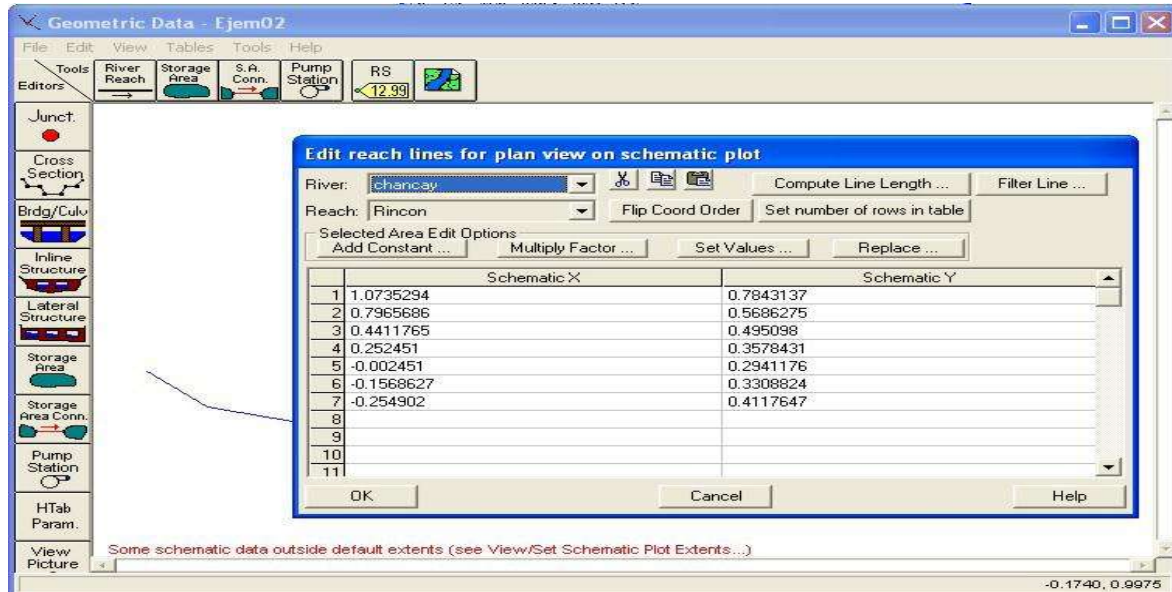
Cuando se conectan los reaches juntos, las uniones son formadas automáticamente por la interface. Al proyectista también se le solicita ingresar un identificador por medio de una ventana para cada unión.

6.2.3.1.1 Georeferenciar el Tramo

Habiendo hecho el trazo aproximado, podemos georeferenciarlo llevando a coordenadas UTM, de la siguiente manera:

- Abrimos la ventana de datos Geométricos, con Edit/Geometric Data
- En esta ventana abrimos Edit/ReachSchematicLines.
- Nos mostrará los datos de los vértices del tramo a trabajar

Todo ello se ilustra en la ventana siguiente.



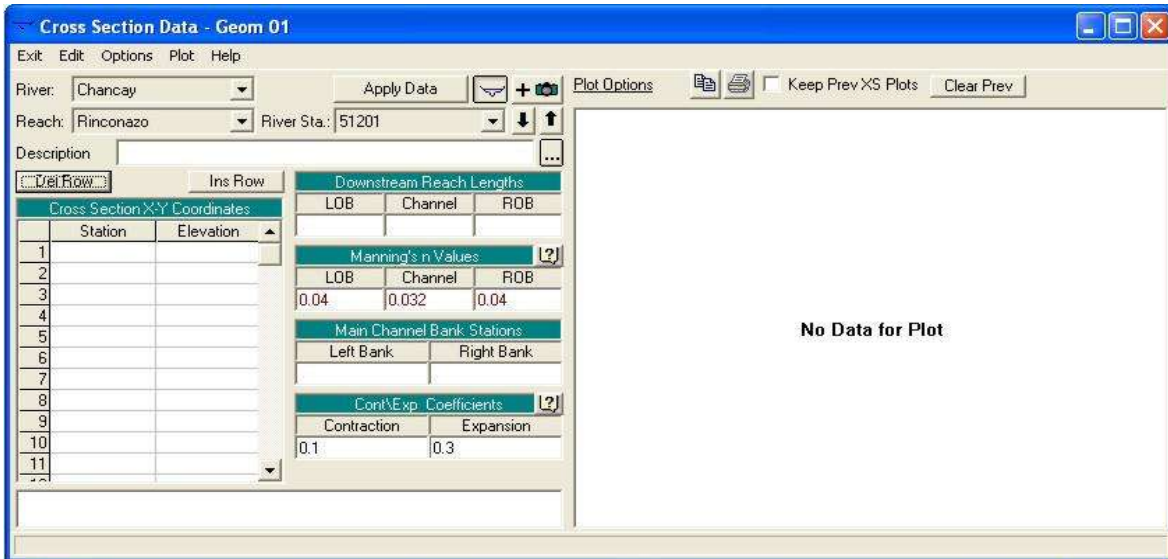
- Cambiamos los datos por las respectivas coordenadas UTM, para cada vértice del trazo, tal como se muestra en la ventana
- Aceptamos los cambios con OK

6.2.3.2 Ingreso de Secciones Transversales

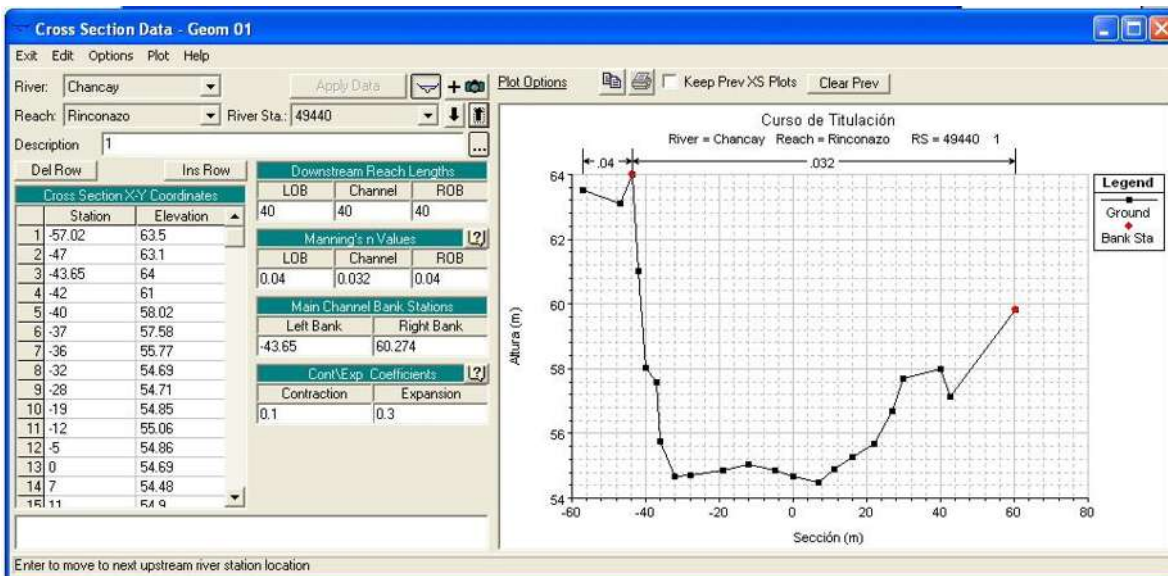
Después del realizar el esquema, se ingresan los datos de secciones transversales

- En la ventana "Geometric Data", seleccionar el Icono "Cross Section"
- Aparecerá una ventana con un espacio en blanco
- Cada sección transversal tiene un nombre del Río, nombre del reach, Estación del Río, y una Descripción para describir donde la sección transversal se localiza en el sistema del río.
- Para introducir la primera sección transversal, seleccionar Options/Add a new Cross Section
- Aparecerá una ventana pidiendo un identificador para la sección transversal. El identificador de la "Estación del Río" no tiene que ser la estación del río real (millas o kilómetros), pero tiene que ser un valor numérico (por ejemplo 1.1, 2, 3.5, etc.). El valor numérico se usa para poner las secciones transversales en el orden apropiado dentro del tramo.
- Introducir un número que representará su posición relativa con respecto a las demás secciones

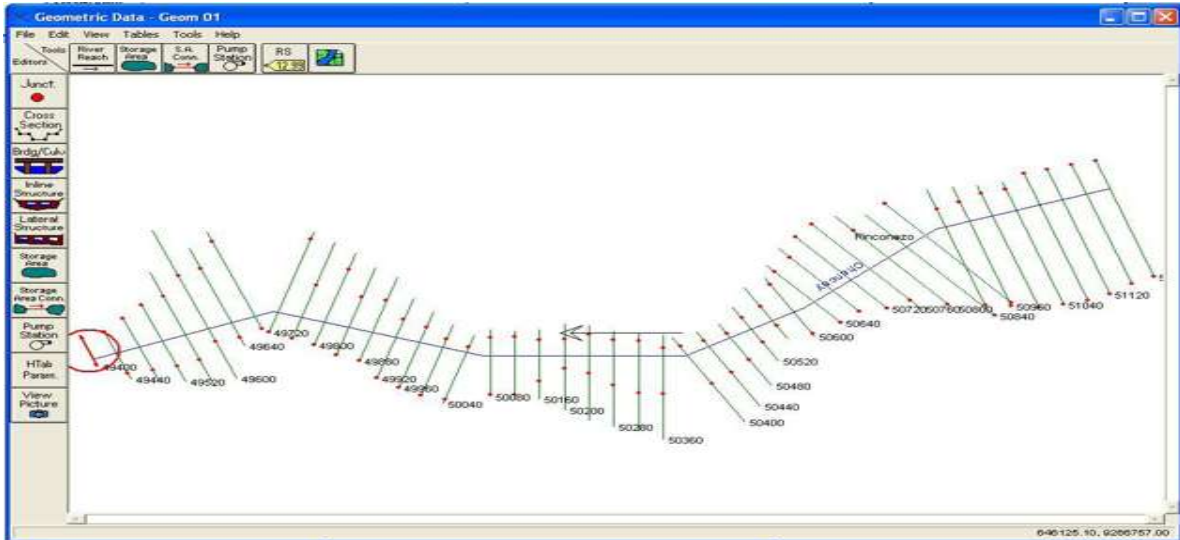
Se recomienda que sea un punto Kilométrico o una referencia fácilmente reconocible en un mapa. El orden como se ordenan las secciones es aguas arriba las de mayor valor y aguas abajo las de menor valor. Siguiente ventana.



- Construir la sección transversal introduciendo la abscisa en “Station” y la cota en “Elevation”. Si se trata de una sección simétrica, es conveniente considerar el 0 (cero), de las abscisas coincidentes con el eje del canal.
- Cada vez que se hace “clic” sobre el “Apply Data” los datos serán introducidos y representados en el espacio de la derecha. Siguiente ventana.



- Cuando ingresemos a partir de la segunda sección transversal, estas aparecerán indicadas en la ventana “Geometric Data”.
- Cuando terminemos de ingresar las secciones tendremos la siguiente vista



6.2.3.3 Ingreso de los Datos Hidráulicos: Caudal y Condiciones de Contorno

Una vez ingresados los datos geométricos, el modelador puede ingresar los datos del flujo que se requiere. La forma de entrada de datos para los datos de flujo está disponible bajo la opción Edit de la barra de menú en la ventana principal del HEC RAS.

Los Datos de Flujo consisten de:

El número de perfiles ser computado;

Los datos de flujo (Caudales, niveles de agua en sección de control); y

Las condiciones límite del río.

Por lo menos debe ingresarse un flujo para cada reach dentro del sistema. Adicionalmente, puede cambiarse el flujo a cualquier situación dentro del sistema del río.

Se requieren las condiciones del límite para realizar los cálculos. Si un análisis de flujo de subcrítico va a ser realizado, entonces sólo las condiciones de límite de aguas abajo se requieren. Si un análisis de flujo de supercrítico va a ser realizado, entonces sólo las condiciones de límite de aguas arriba se requieren. Si el

proyectista va a realizar un cálculo de régimen de flujo mixto, entonces se requieren ambas condiciones límite tanto aguas arriba como aguas abajo. El límite condiciona la forma de entrada de datos.

6.2.3.3.1 Ingreso de Caudales

Para ingresar los datos realizaremos los siguientes pasos:

- Seleccionar EDIT/Steady Flor Data
- Aparecerá la ventana siguiente que nos permite:
- Definir el número de perfiles (hasta 2000), cada uno de los cuales corresponde a un caudal diferente (Enter/Edit Number of Profiles)
- Definir las condiciones de contorno (Reach Boundary conditions)
- Introducir cambios en los caudales en determinadas secciones (Add a Flor Change Location). Ya que considera que el caudal no cambia hacia aguas abajo hasta que se encuentra con otro valor en otra sección.
- Definir los caudales de cada perfil en cada sección donde se produce un cambio de caudal (no permite introducir cambios de caudales en secciones interpoladas).



6.2.3.3.2 Introducir Las Condiciones de Contorno

Las condiciones de contorno que se admiten son:

- Nivel de agua conocido (Known W.S.): adecuada si se conoce un nivel en alguna sección transversal. Es importante destacar que el programa exige NIVEL, por lo que hay que introducir el tirante más la cota más baja de la sección.
- Calado crítico (CriticalDepth): Adecuada si existe alguna sección de control. En esta opción no se exige ningún dato adicional.

- Calado Normal (Normal Depth): adecuada para situaciones donde el flujo se aproxime al uniforme. Exige introducir la pendiente del tramo de influencia.
- Curva de Gasto (Rating Curve): adecuada si existe alguna sección de control con una relación entre calado y caudal fija.

Seleccionando el icono “ReachBoundaryConditions” aparece la ventana para introducir las condiciones de contorno.

Pueden introducirse condiciones para todos los perfiles a la vez o uno a uno. En este caso conviene seleccionar la opción de todos los perfiles a la vez (Set boundary for all profiles), completar las condiciones de aguas arriba y aguas abajo y luego seleccionar la opción de un perfil por vez (Set boundary for one profile at a time). Con ello logramos que todos los perfiles tengan las mismas condiciones.

6.2.3.4 Crear un Plan y Ejecutar Una Simulación

6.2.3.4.1 Fundamento del Proceso Computacional

Una vez ingresados todos los datos geométricos y datos de flujo, el proyectista puede empezar a realizar los cálculos hidráulicos de simulación.

Perfiles del agua en flujo permanente:

Este componente calcula perfiles para flujo gradualmente variado. El sistema puede manejar una red de canales, un sistema dendrítico o un simple tramo del río. Y es capaz de modelar flujos supercríticos, subcríticos y mixtos.

El proceso computacional se basa en:

- La solución unidimensional de la ecuación de energía. En ella las pérdidas de energía son evaluadas por fricción (ecuación de Manning), por contracción y expansión (coeficiente que multiplican a la carga de velocidad).
- La ecuación de Momentum es utilizada en situaciones donde el flujo es rápidamente variado. Esto incluye régimen de flujos mixtos: saltos hidráulicos, hidráulica de puentes y confluencia de ríos.
- Los efectos de obstrucciones como: puentes, barrajes, alcantarillas y estructuras en el plano de inundaciones pueden ser considerados en los cálculos.

El sistema de flujo no permanente está diseñado para la aplicación en planos de inundación y estudios de protección contra avenidas. También se puede modelar cambios en los perfiles de agua en canales debidos a mejoramientos y diques.

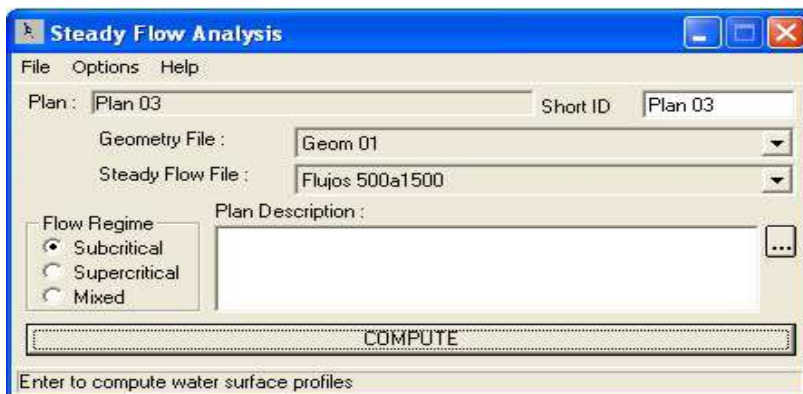
Con los datos de entrada se generan simulaciones de curvas de remanso, que, como se desarrollaran bajo las siguientes premisas:

1. Flujo permanente (no cambia con el tiempo)
2. Flujo gradualmente variado (el flujo cambia en distancias relativamente grandes)
3. Flujo uni-dimensional con correcciones para distribución horizontal de velocidad
4. Pendiente suave
5. La pendiente promedio de la línea de energía es constante entre dos secciones transversales adyacentes

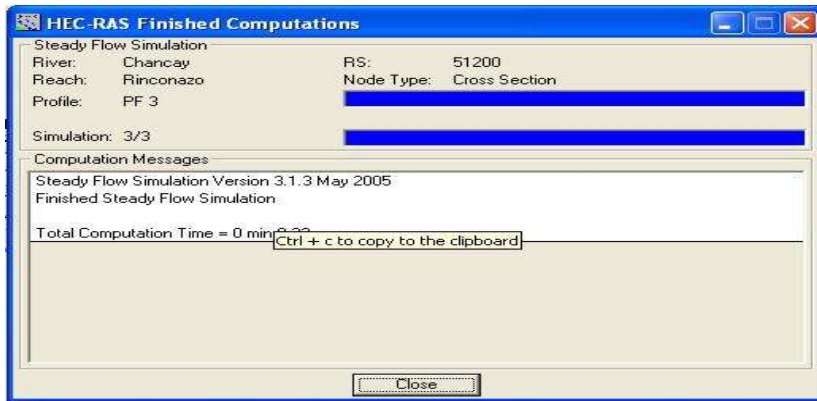
6.2.3.4.2.- Crear un Plan y Efectuar la Simulación

Para crear una simulación hidráulica del cauce es necesario, crear un plan que incorpore un fichero de datos de geometría y otro de datos hidráulicos.

- Para ello seleccionaremos Run/Steady Flor Análisis
- Aparecerá una ventana donde podemos introducir un identificador. Si no lo hacemos aparecerá uno por defecto.
- Seleccionamos un fichero de datos geométricos y uno de datos hidráulicos de entre los existentes.
- Seleccionamos el régimen del flujo que se espera encontrar (subcrítico, Supercrítico o Mixto), sino estamos seguros se recomienda usar la opción “Mixed”, pero debemos tener en cuenta que esta opción exige condiciones de contorno aguas arriba y aguas abajo.
- Ejecutamos la simulación seleccionando “Compute” siguiente ventana.



Una vez ejecutada la simulación correctamente, se mostrará la siguiente ventana



Seleccionar "Close" para cerrar la ventana.

6.2.3.5 Ver e Imprimir los Resultados

Una vez el modelo ha terminado todos los cálculos, el proyectista pueden empezar viendo los resultados.

La salida del programa abarca entre otras, secciones transversales (mostrando la sección del canal y los niveles de agua), perfiles longitudinales, curvas y (tirante) Vs. Q (caudal), Perspectivas X-Y-Z (Pseudo 3D), tabla de la sección transversal (puntos, velocidad media, número de Froude, etc), tabla del perfil longitudinal. Etc.

Los datos de salida permiten conocer, por ejemplo, el tirante del agua, la velocidad media del flujo, etc. Estos parámetros se utilizan, por ejemplo, en el diseño de puentes (para calcular la socavación producida por el paso del agua en los pilares y estribos), para diseñar la protección de los terraplenes de una carretera, para determinar la planicie de inundación y planificar el desarrollo urbano de una ciudad, etc. Los datos de salida se deben tratar con sumo cuidado por especialistas.

Todos los gráficos y tablas de datos pueden ser vistos en pantalla, enviados a una impresora o al ploter o pasado a través del Clipboard de window a otro software como procesador de textos o una hoja de cálculos

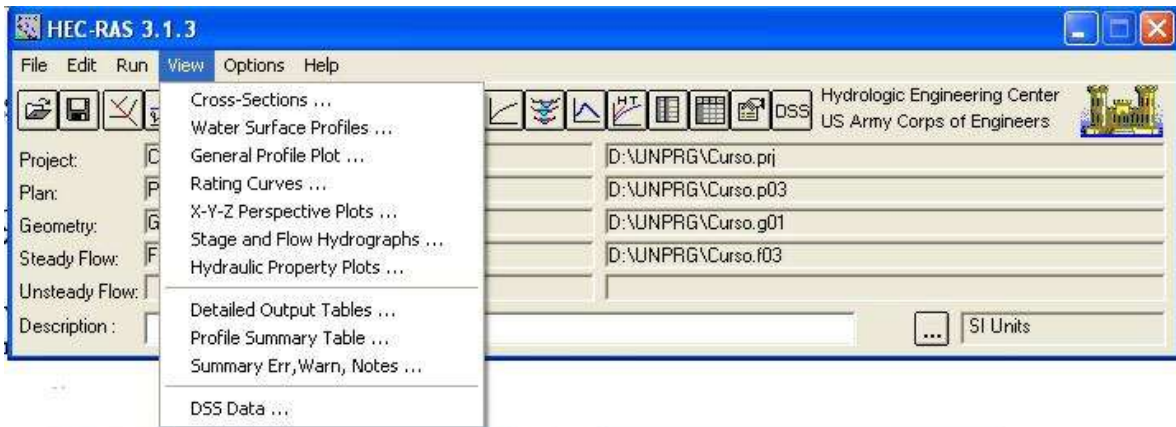
Todas las opciones disponibles en la ventana de secciones transversales también están disponibles en la ventana del perfil. Adicionalmente, el usuario puede seleccionar qué tramos específicos para plotear cuando un sistema de río de múltiple está simulándose.

Una pantalla de X-Y-Z también está disponible. El usuario tiene la opción de definir el arranque y acabar la situación para la magnitud del tramo considerado. El tramo

puede girarse ó puede corregirse, y conseguir perspectivas diferentes del tramo del río.

6.2.3.5.1 Resultados Desde el Menu VIEW

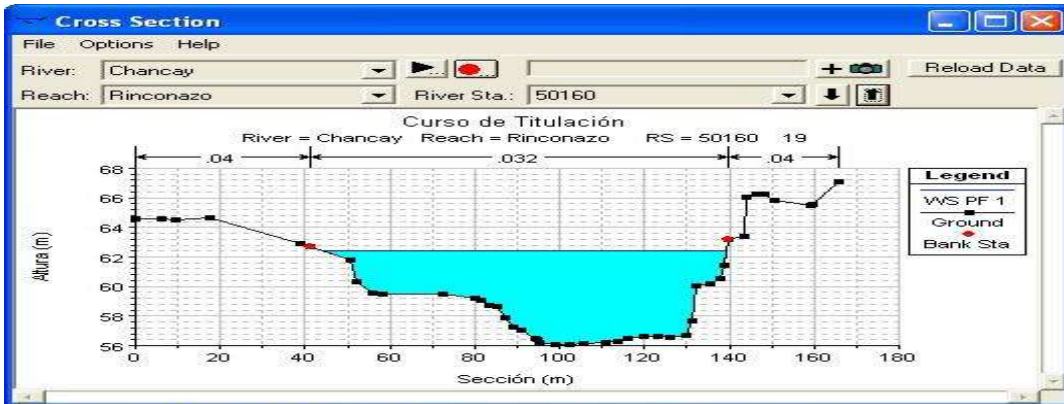
Ejecutada la simulación correctamente, podemos ver los resultados de diferentes maneras, como por ejemplo al desplegar el submenú del menú VIEW podemos observar que tenemos las siguientes opciones de ver los resultados como se muestra en la siguiente ventana.



- Ver las Secciones transversales (Cross Sections)
- Ver los Perfiles de Superficie de Agua (Watersurfaceprofile)
- Ver gráficas de varios parámetros a lo largo de todo el perfil (General ProfilePlot)
- Ver curvas caudal-tirante de cada perfil (Rating Curves)
- Ver dibujos en Perspectiva X-Y-Z (X-Y-Z Perspectiva Plots;
- Ver hidrogramas de caudal y tirante (solo cuando se ejecutan simulaciones con flujo no permanente)(Stage and FlowHydrographs)
- Ver gráficas de propiedades hidráulicas (HydraulicPropertyPlots)
- Vertablas de detalle (Detailed Output Table)
- Ver tablas de resumen (ProfileSummary Table)
- Ver Resumen de errores, advertencias, y Notas. (Summary Err, Warn, Notes)
- Ver datos en formato DSS(DSS Data)

6.2.3.5.1.1.- Secciones Transversales

En el menú VIEW o seleccionando el icono correspondiente aparece la siguiente ventana:

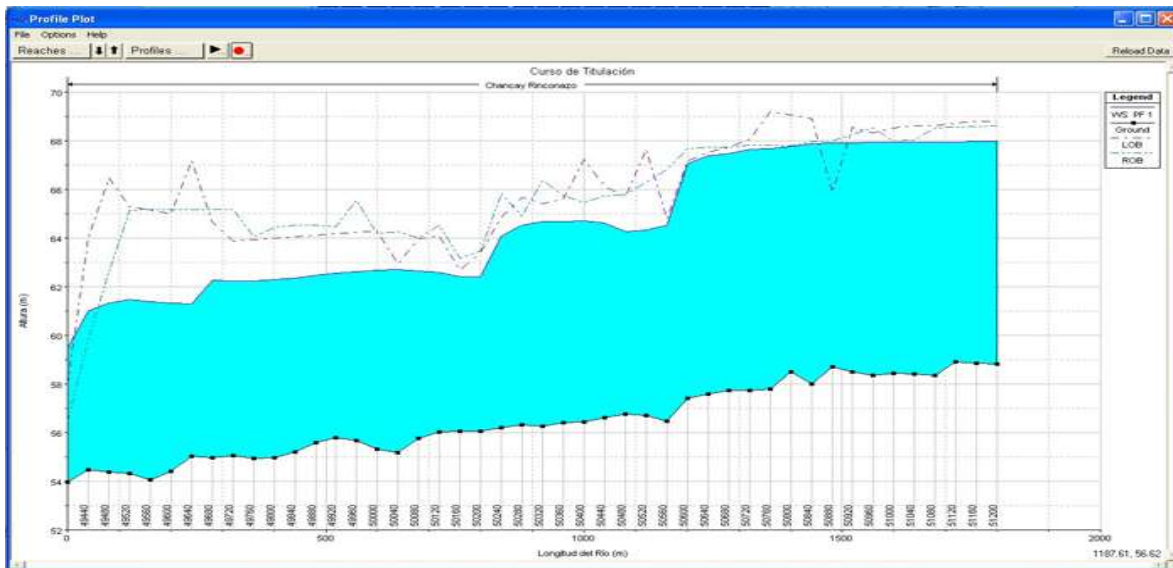


En el menú “Options” existen muchas posibilidades para personalizar esta gráfica como por ejemplo:

- Elegir el Plan
- Elegir el perfil
- Ver o no las secciones interpoladas
- Elegir las variables para ver

6.2.3.5.1.2.- Perfiles de las Láminas de Agua

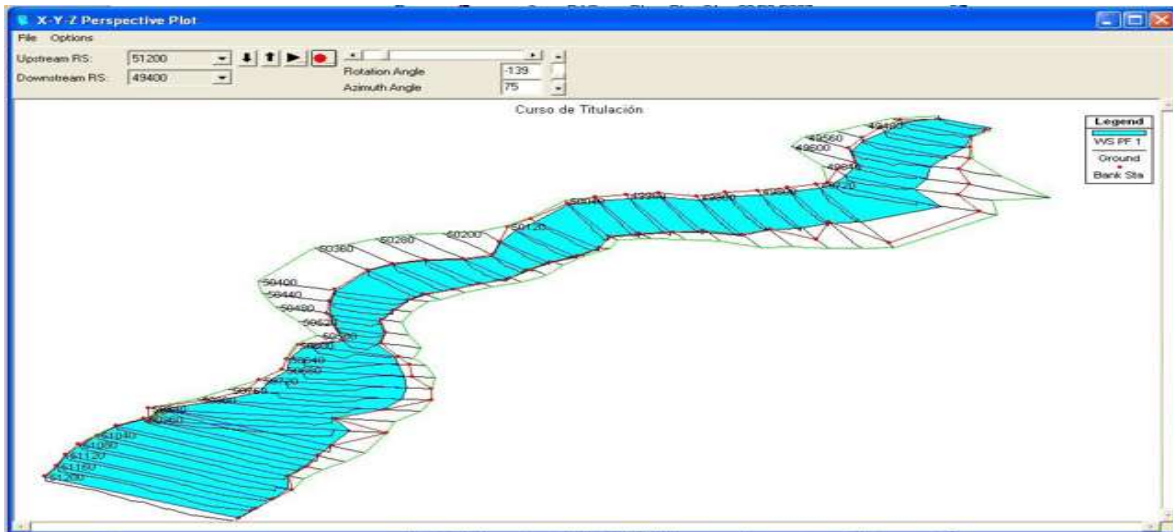
En el menú “View” o seleccionando el icono correspondiente aparece la ventana:



De nuevo en el menú “Options” tenemos todo tipo de posibilidades similares a las que tenemos con las secciones transversales. Es posible incluso hasta cambiar la escala de ambos ejes.

6.2.3.5.1.4.-Ver Dibujos en Perspectiva

En el menú “View” o seleccionando el icono correspondiente aparece la ventana:



En esta vista en el menú “Options”, también podemos seleccionar el plan, el perfil (incluso varios o todos), hacer acercamientos, animaciones, etc. En la ventana podemos configurar la vista cambiando el ángulo horizontal (Rotation angle) o el ángulo vertical (Azimuth Angle).

6.2.3.5.1.5.-Ver Tablas de Detalle (Detailed Output Table)

En el menú “View” o seleccionando el icono correspondiente aparece la ventana:

Plan: Plan 01		Chancay Rinconazo RS: 49600		Profile: PF 1	
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	62.31	Wt. n-Val.		0.032	
Vel Head (m)	0.98	Reach Len. (m)	40.00	40.00	40.00
W.S. Elev (m)	61.33	Flow Area (m2)		455.46	
Crit W.S. (m)		Area (m2)		455.46	
E.G. Slope (m/m)	0.002877	Flow (m3/s)		2000.00	
Q Total (m3/s)	2000.00	Top Width (m)		102.29	
Top Width (m)	102.29	Vel Total (m/s)		4.39	
Vel Total (m/s)	4.39	Avg. Vel. (m/s)		4.39	
Max Chl Dpth (m)	6.92	Hydr. Depth (m)		4.45	
Conv. Total (m3/s)	37288.3	Conv. (m3/s)		37288.3	
Length wtd. (m)	40.00	Wetted Per. (m)		107.41	
Min Ch El (m)	54.41	Shear (N/m2)		119.63	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		525.32	
Frctn Loss (m)	0.10	Cum Volume (1000 m3)	0.06	102.83	0.44
C & E Loss (m)	0.07	Cum SA (1000 m2)	0.05	21.59	0.16

Errors, Warnings and Notes

Warning: The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15 m). This may indicate the need for additional cross sections.

Aquí se ve un resumen de los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones, con las opciones de incluir los mensajes de error, avisos y notas en la misma ventana y cambiar el sistema de unidades para la visualización.

6.2.3.5.1.6.- Ver Tabla de Resumen (Profile Summary Table)

En el menú “View” o seleccionando el icono correspondiente aparece la ventana:

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Rincónazo	51200	PF 1	2000.00	58.91	67.96		68.03	0.000127	1.15	1740.31	287.37	0.15
Rincónazo	51160	PF 1	2000.00	58.86	67.96		68.03	0.000132	1.15	1734.55	295.49	0.15
Rincónazo	51120	PF 1	2000.00	58.90	67.95		68.02	0.000137	1.15	1743.94	309.54	0.15
Rincónazo	51080	PF 1	2000.00	58.95	67.95		68.02	0.000135	1.14	1751.18	308.62	0.15
Rincónazo	51040	PF 1	2000.00	58.40	67.94		68.01	0.000125	1.15	1733.91	293.01	0.15
Rincónazo	51000	PF 1	2000.00	58.45	67.94		68.00	0.000114	1.12	1783.72	281.07	0.14
Rincónazo	50960	PF 1	2000.00	58.34	67.93		68.00	0.000110	1.14	1748.38	259.94	0.14
Rincónazo	50920	PF 1	2000.00	58.51	67.92		67.99	0.000129	1.24	1620.36	245.36	0.15
Rincónazo	50880	PF 1	2000.00	58.70	67.90		67.99	0.000175	1.32	1515.15	257.26	0.17
Rincónazo	50840	PF 1	2000.00	58.00	67.89		67.98	0.000181	1.40	1426.18	228.99	0.18
Rincónazo	50800	PF 1	2000.00	58.51	67.76		67.96	0.000513	1.98	1012.45	214.59	0.29
Rincónazo	50760	PF 1	2000.00	57.78	67.68		67.93	0.000623	2.22	900.68	183.66	0.32
Rincónazo	50720	PF 1	2000.00	57.73	67.63		67.90	0.000693	2.29	871.62	179.32	0.33
Rincónazo	50680	PF 1	2000.00	57.74	67.47		67.86	0.001002	2.74	728.89	151.52	0.40
Rincónazo	50640	PF 1	2000.00	57.58	67.39		67.81	0.001064	2.86	698.43	141.49	0.41
Rincónazo	50600	PF 1	2000.00	57.42	67.05		67.73	0.001939	3.64	548.86	121.65	0.55
Rincónazo	50560	PF 1	2000.00	56.46	64.53	64.53	67.38	0.006497	7.49	267.16	46.90	1.00
Rincónazo	50520	PF 1	2000.00	56.71	64.32		65.59	0.002856	5.01	399.23	67.61	0.66
Rincónazo	50480	PF 1	2000.00	56.77	64.27		65.47	0.002442	4.84	413.49	68.36	0.63
Rincónazo	50440	PF 1	2000.00	56.63	64.62		65.23	0.001090	3.46	578.29	86.30	0.43
Rincónazo	50400	PF 1	2000.00	56.43	64.70		65.14	0.000766	2.95	677.44	100.51	0.36
Rincónazo	50360	PF 1	2000.00	56.41	64.69		65.10	0.000761	2.94	703.27	109.18	0.36
Rincónazo	50320	PF 1	2000.00	56.26	64.67		65.07	0.000786	2.82	709.70	119.00	0.37
Rincónazo	50280	PF 1	2000.00	56.32	64.54		65.03	0.000955	3.09	648.30	107.46	0.40
Rincónazo	50240	PF 1	2000.00	56.22	64.10		64.94	0.001870	4.06	493.18	89.26	0.55
Rincónazo	50200	PF 1	2000.00	56.07	62.41	62.41	64.67	0.006909	6.66	300.37	67.15	1.00
Rincónazo	50160	PF 1	2000.00	56.05	62.42	62.41	63.77	0.004362	5.13	389.64	95.17	0.81
Rincónazo	50120	PF 1	2000.00	56.03	62.59		63.49	0.003006	4.18	478.03	121.59	0.67
Rincónazo	50080	PF 1	2000.00	55.77	62.65		63.32	0.001975	3.63	550.84	125.36	0.55
Rincónazo	50040	PF 1	2000.00	55.17	62.71		63.21	0.001254	3.14	637.93	129.20	0.45
Rincónazo	50000	PF 1	2000.00	55.33	62.66		63.16	0.001230	3.12	640.51	128.56	0.45
Rincónazo	49960	PF 1	2000.00	55.67	62.61		63.11	0.001246	3.13	638.71	129.63	0.45
Rincónazo	49920	PF 1	2000.00	55.79	62.56		63.06	0.001284	3.13	639.28	134.06	0.46
Rincónazo	49880	PF 1	2000.00	55.59	62.47		63.00	0.001451	3.24	617.91	135.86	0.46
Rincónazo	49840	PF 1	2000.00	55.20	62.34		62.93	0.001629	3.41	585.87	127.99	0.51
Rincónazo	49800	PF 1	2000.00	54.96	62.30		62.86	0.001485	3.32	602.47	126.65	0.49
Rincónazo	49760	PF 1	2000.00	54.95	62.24		62.80	0.001393	3.31	604.60	120.93	0.47
Rincónazo	49720	PF 1	2000.00	55.07	62.23		62.74	0.001172	3.17	631.51	119.67	0.44
Rincónazo	49680	PF 1	2000.00	54.98	62.27		62.66	0.001065	2.75	726.76	159.14	0.41
Rincónazo	49640	PF 1	2000.00	55.03	61.31		62.50	0.003719	4.84	413.06	96.58	0.75
Rincónazo	49600	PF 1	2000.00	54.41	61.33		62.31	0.002877	4.39	455.46	102.29	0.66
Rincónazo	49560	PF 1	2000.00	54.06	61.40		62.14	0.002096	3.82	522.94	114.26	0.57
Rincónazo	49520	PF 1	2000.00	54.32	61.47		62.01	0.001364	3.27	612.43	122.11	0.47
Rincónazo	49480	PF 1	2000.00	54.37	61.32		61.95	0.001584	3.50	570.64	116.48	0.51
Rincónazo	49440	PF 1	2000.00	54.48	61.00		61.85	0.002240	4.08	490.17	102.27	0.59
Rincónazo	49400	PF 1	2000.00	53.97	59.46	59.46	61.58	0.006246	6.55	318.40	77.33	1.00

Total flow in cross section.

En esta ventana en principio aparece la Tabla estandar, pero pueden elegirse entre 21 de ellas o configurar nuestra propia tabla. También nos permite elegir ver secciones interpoladas o no.

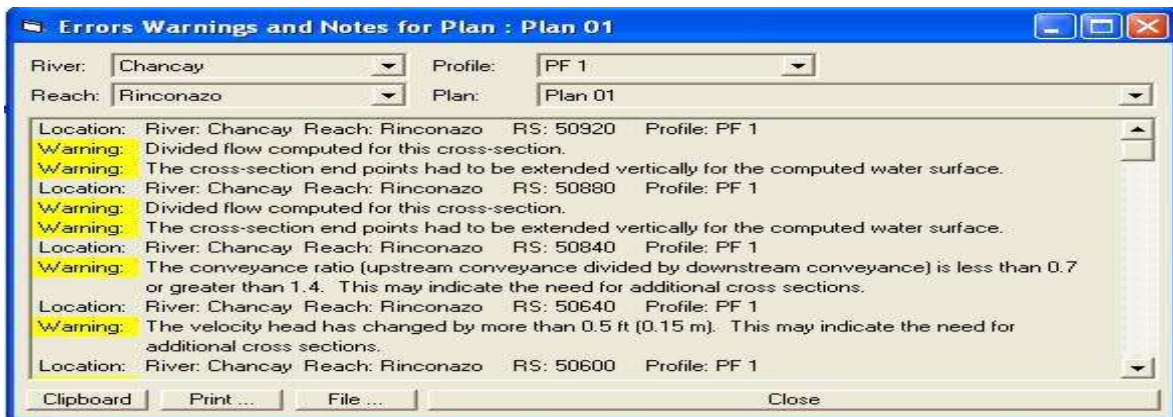
6.2.3.5.1.7.- Ver Resumen de Errores, Advertencias y Notas (Summary Err, Warn, Notes)

Una vez ejecutada la simulación, el programa genera un registro de incidencias que se clasifican en:

- Errores (Errors): los mensajes de error son enviados únicamente cuando han surgido problemas que han impedido que una simulación se complete.
- Avisos (Warnings): los avisos dan información al usuario sobre incidencias que pueden exigir o no acciones de corrección. Cuando aparecen estos mensajes, el usuario debe revisar los resultados hidráulicos de la sección afectada para asegurarse de que sean razonables. A veces pueden ir acompañados de alguna sugerencia que puede hacer desaparecer este

mensaje en futuras simulaciones. Los problemas más comunes que suelen hacer aparecer mensajes son:

- a) Secciones demasiado espaciadas
- b) Secciones que comienzan o terminan en una cota demasiado baja
- c) Cota inicial de la lámina de agua incorrecta para el régimen especificado.
- d) Datos de la sección transversal incorrectos.
 - Notas (Notes): dan información al usuario de cómo se están realizando los cálculos.



Esta ventana nos presenta una serie de Avisos y notas que para facilidad de comprensión se muestra una traducción tal como sigue:

a). Traducción de Avisos Más Comunes:

- “Divided flow computed for this section”: El flujo fue calculado de manera dividida en esta sección. El flujo puede no ser 1-D
- “The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15m). This may indicate then eed for additional cross section”: La altura de velocidad ha cambiado más de 0.15 m, lo que puede indicar la necesidad de secciones transversales adicionales.
- “The energy loss was greater then 1.0 ft (0.30m) between the current and previous cross sections. “This may indicate then eed for additional cross section”: La pérdida de carga fue mayor que 0.30m entre las secciones transversales actual y anterior, lo que puede indicar la necesidad de secciones transversales adicionales.
- “The conveyance ratio (Upstream conveyance divided by downstream conveyance) is less than 0.7 or greater than 1.4. “This may indicate then eed for additional cross section”:La relación de transporte (transporte aguas

arriba dividido entre el transporte aguas abajo), es menor que 0.7 o mayor que 1.4, lo que puede indicar la necesidad de secciones transversales adicionales.

- “During the Standard step iterations, when the assumed water surface was set equal to critical depth, the calculated water surface came back below critical depth. This indicates that there is not a valid subcritical answer. The program defaulted to critical depth”: En las iteraciones del método estándar por pasos, cuando la superficie libre fue asumida igual al tirante crítico, la superficie calculada arrojó valores de tirantes menores al tirante crítico. Esto indica que no existe una respuesta subcrítica válida. El programa colocó el tirante crítico.
- “The energy equation could not be balanced within the specified number of iterations. The program selected the water surface that had the least amount of errors between computed and assumed values”: La ecuación de energía no pudo ser balanceada con el número especificado de iteraciones. El programa eligió la superficie libre que tuvo el mínimo error entre los valores calculados y asumidos.

b). Traducción de Notas Más Comunes:

- “Program found supercritical flow starting at this cross section”: El programa encontró flujo supercrítico a partir de esta sección transversal.
- “Multiple critical depths were found at this location. The critical depth with the lowest valid water surface was used”: En esta sección se encontraron múltiples tirantes críticos. Se eligió el tirante con el menor tirante
- “Hydraulic jump was occurred between this cross section and the previous upstream section”: Un resalto hidráulico ha ocurrido entre esta sección transversal y la de aguas arriba.

Bibliografía:

- 1 U.S. Army Corps of Engineers: HEC-RAS Users Manual, Versión 3.1.3 May 2005
- 2 L. Nania/ E. Molero: Manual Básico de HEC-RAS 3.1.3 y HEC-GeoRAS 3.1.1, U. de Granada Area de Ingeniería Hidráulica.
- 3 Ing. J. Kuroiwa Z. y otros: Curso: Análisis y Diseño de Defensas Ribereñas Usando el programa HEC-RAS, Set.2000 CIP – Consejo Nacional
- 4 Ing. Cayo Ramos T.: HEC-RAS 3.1 Manual de Entrenamiento, UNA La Molina – Facultad de Ingeniería Agrícola. Nov.2003
- 5 Ven Te Chow: Hidráulica de los Canales Abiertos, 2da. Impresión Feb. 1983
- 6 Juan Martin Vide: Hidráulica Fluvial; Edicions UPC 1997

7.- PROCEDIMIENTOS DE GENERACION DE MAPAS DE RIESGO DE INUNDACION

7.1 Procedimientos de Generación de Mapas de Riesgo de Inundación

Para la generación de mapas de riesgo de inundación (A Diez Herrero, L. Lain Huerta y M. Llorente Isidro, Madrid 2006), describen la siguiente metodología.

HEC-GeoRAS es un programa ejecutable desde las aplicaciones SIG ArcView 3X y ArcGIS 9.0, que permite el intercambio de información espacial entre el SIG y HEC-RAS. Así, sobre la base de un modelo digital del terreno (MDT), ya se haya definido éste en formato TIN (*Triangulated Irregular Network*) o 'ráster', HEC-GeoRAS genera automáticamente el modelo geométrico (secciones transversales), mediante la intersección de planos verticales con el MDT. Esta información sirve de entrada a HEC-RAS para implementar un modelo hidráulico unidimensional estacionario, o unidimensional transitorio. De este modo se pueden definir las áreas inundables para una crecida de diferentes periodos de retorno, que determinan las zonas A, o áreas especiales de riesgo de los mapas de seguros contra inundaciones. La expresión cartográfica de estas unidades se establece en el SIG, intersectando el MDT con la superficie en lámina libre obtenida en HEC-RAS, mediante interpolación de los calados definidos en cada una de las secciones transversales consideradas. (A Diez Herrero, L. Lain Huerta y M. Llorente Isidro, Madrid 2006).

La definición del modelo geométrico requiere de la disponibilidad de dos capas vectoriales de segmentos, que representen los ejes centrales de los canales (thalwegs), así como las respectivas orillas de cada uno de ellos, al objeto de que la geometría del canal quede fehacientemente representada en planta. La generación automática de las secciones transversales, se basa en la asunción y caracterización de una serie de parámetros de 'ubicación' y 'orientación' relacionados con las secciones transversales. En relación con las primeras, se trata de definir la distancia existente entre dos secciones transversales separadas por una confluencia, así como la distancia comprendida entre cada dos secciones transversales. Asimismo, el usuario tiene la opción de cambiar la ubicación de una sección transversal, así como el intervalo de separación entre ellas, tomando como referencia el perfil longitudinal del lecho del canal, de manera que las secciones transversales sean reubicadas en los puntos de inflexión que define dicho perfil. Las reglas de 'orientación' consisten en especificar la anchura de las secciones transversales. Igualmente, de modo opcional se pueden definir perfiles (wings en la terminología utilizada en la aplicación) que se orientan hacia un

determinado calado de lámina de agua. La determinación de las pérdidas por fricción en cada sección, se determina a partir de la información espacial de usos del suelo disponible, asignando en función de ésta el coeficiente de Manning correspondiente.

El proceso de generación del modelo geométrico finaliza con un análisis topológico, en el que se verifica la corrección de las relaciones espaciales establecidas entre los elementos hidráulicos que integran el modelo. En dicho análisis se debe verificar que cada línea normal al *thalweg* (definitoria de una sección transversal) debe cortar a éste una única vez; b) las líneas definitivas de las orillas y el *thalweg* deben ser cortadas por una línea normal a éste (sección transversal); c) las secciones transversales no pueden cruzarse entre sí. Finalmente, el modelo geométrico creado se convierte a formato SDF, al objeto de que pueda ser importado desde HEC-RAS y llevar a cabo la simulación hidráulica.

7.1.2. Delineación Automática de las Áreas Especiales de Riesgo

Los resultados derivados de la simulación hidráulica realizada en HEC-RAS se almacenan en la *geodata base*. Seguidamente, en HEC-GeoRAS se genera una superficie de lámina de agua, de manera que de la intersección de ésta con el MDT resultan las áreas inundables para un periodo de retorno dado. Así, GeoRAS delinea las áreas de flujo. Igualmente, las áreas inundables quedan definidas por polígonos. (A Diez Herrero, L. Lain Huerta y M. Llorente Isidro, Madrid 2006).

Según el manual de Hec-GeoRas.

Hec-GeoRAS 3.1.1 es una extensión para ArcView 3.2 desarrollada conjuntamente por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del United States Army Corps of Engineers y el Environmental System Research Institute (ESRI). Básicamente es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos georreferenciados que permiten bajo el entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitar y complementar el trabajo con HEC-RAS. HEC-GeoRAS 3.1.1. está escrito en el lenguaje de programación Avenue y es el resultado de la evolución de la extensión AVRAS 2.2

HEC-GeoRAS crea un archivo para importar a HEC-RAS datos de geometría del terreno incluyendo cauce del río, secciones transversales, etc. Posteriormente los resultados obtenidos de calados y velocidades se exportan desde HEC-RAS a ArcView y pueden ser procesados para obtener mapas de inundación y riesgo.

7.1.3 Instalación de HEC-GeoRAS

Antes de instalar HEC-GeoRAS es necesario tener instalado ArcView 3.2 (se recomienda la versión 3.2a con todos sus parches) y la extensión 3D Analyst 1.0. Aunque no es estrictamente necesaria, la extensión Spatial Analyst 2.0a agiliza las operaciones de post-proceso de datos. La extensión es gratuita y fácilmente descargable junto al manual de usuario y ejemplos de aplicación, desde la página web: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hec-georas_downloads.html Cuando ingresamos a la página nos muestra lo siguiente (figura 7-1).

US Army Corps of Engineers

HEC-GeoRAS Downloads

Home | About HEC | Newsletter | Software | Publications | Training | Visitors | Links | Contact Us

HEC-GeoRAS is a GIS extension that provides the user with a set of procedures, tools, and utilities for the preparation of GIS data for import into HEC-RAS and generation of GIS data from RAS output. While the GeoRAS extension is designed for users with limited geographic information systems (GIS) experience, knowledge of GIS is advantageous. Users, however, must have experience modeling with HEC-RAS and have a thorough understanding of river hydraulics to properly create and interpret GIS data sets.

HEC-GeoRAS 4.1.1 for ArcGIS 9.1 (Jan 06)
 ArcGIS 9.1 (ArcView license) with the 3D Analyst and Spatial Analyst extensions are required.
 Install Package (9MB) | [Instructions](#) | [Primary Download Site](#) | [Alternate Download Site](#)
[User's Manual](#) (3.5MB)

HEC-GeoRAS 4.1 for ArcGIS 9 (Jan 06)
 ArcGIS 9 (ArcView license) with the 3D Analyst and Spatial Analyst extensions are required.
 Install Package (9MB) | [Instructions](#) | [Primary Download Site](#) | [Alternate Download Site](#)
[User's Manual](#) (3.5MB)

HEC-GeoRAS 4.0 for ArcGIS 8.3 (Jan 06)
 ArcGIS 8.3 (ArcView license) with the 3D Analyst and Spatial Analyst extensions are required.
 Install Package (11MB) | [Instructions](#) | [Primary Download Site](#) | [Alternate Download Site](#)
[User's Manual](#) (3.5MB)

HEC-GeoRAS Example Data Sets
 Examples: [What are these datasets?](#)
 - [Wailupe Import Example](#) (6.7MB) | [Alternate Download Site](#)
 - [Baxter Example](#) (120MB) | [Alternate Download Site](#)
 - [Baxter Example No Mapping](#) (23.6MB) | [Alternate Download Site](#)
 - [Terrain Tiles Example](#) (15.2MB) | [Alternate Download Site](#)

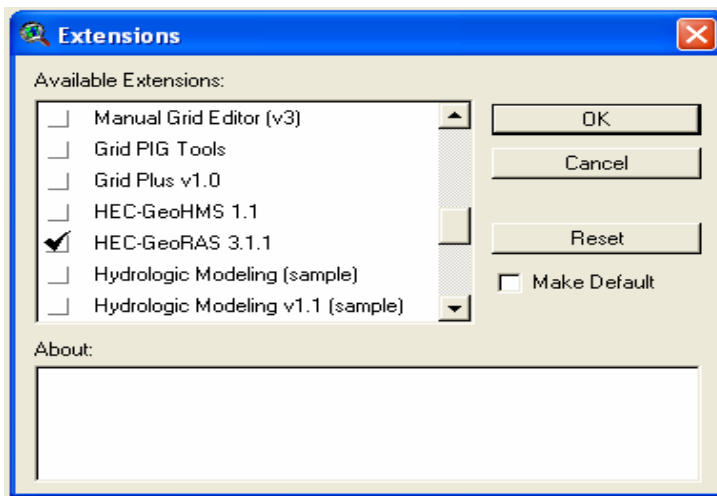
HEC-GeoRAS 3.1.1 for ArcView 3.2
 ArcView 3.2 with the 3D Analyst extension is required. Spatial Analyst is recommended.
[Download Install Package](#)
[User's Manual](#)
[Readme](#)
[Example Data](#)

Figura 7-1 área de descarga de la aplicación

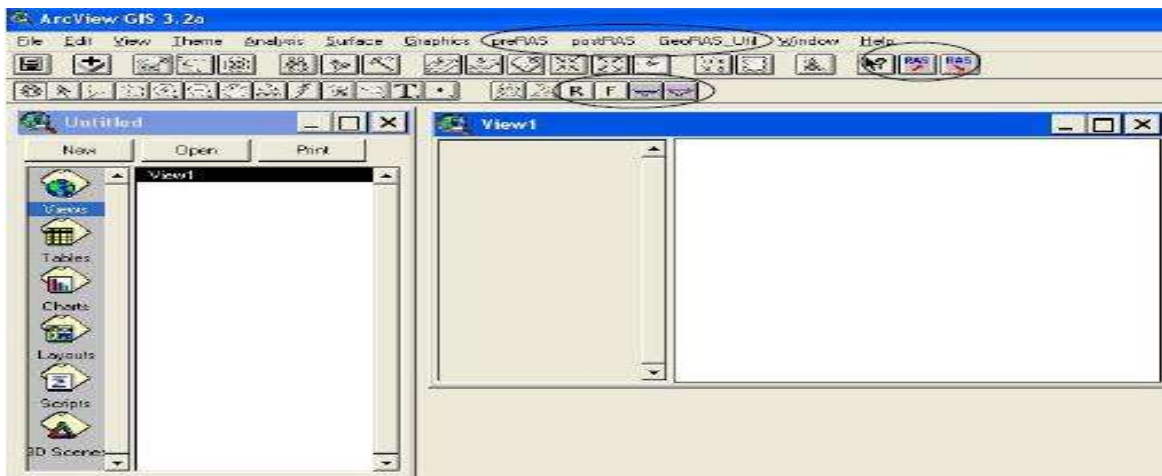
Se trata de un archivo ejecutable (*hecgeoras.exe*) que instala la extensión *HECGeoRAS31.avx* en el directorio: C:\ESRI\AV_GIS30\ARCVIEW\EXT32 Hec-GeoRAS 3.1.1 solo funciona con Windows 95/98/200/XP y para aprovechar todas sus funciones se requiere su uso con HEC-RAS 3.1.3

7.2 Activación de HEC-GeoRAS

La activación de la extensión se realiza desde el desplegable File/extensions. y basta con marcar las casillas correspondientes a *HECGeoRAS 3.1.1*, *3D Analyst* y *Spatial Analyst*. También activaremos la extensión *Cad Reader* para trabajar con archivos de CAD. Como se ilustra en la siguiente ventana.



El resultado es aparición de tres nuevos menús desplegables (*preRAS*, *postRAS* y *GeoRAS_Util*), además de dos nuevos botones de procesamiento y cuatro herramientas de edición que se muestran en la ventana siguiente.



7.2.1 Cartografía Necesaria

Es necesario un MDT (modelo digital del terreno) en formato vectorial TIN (Triangulated Irregular Network) lo más detallado posible. Este modelo puede generarse con ArcView y su extensión 3d Analyst a partir de un fichero dbf (dbase) de puntos acotados o a partir de un fichero de Cad de curvas de nivel en cualquier formato (dxf o dwg). De este TIN se extraerán los datos geométricos de las secciones transversales.

El fichero de Cad que contiene las curvas de nivel, debe llevar asociado a cada registro de la base de datos una columna o atributo que indique su cota. Antes de empezar a trabajar es importante revisar este atributo o en caso contrario comprobar que se trata de polilíneas Z.

7.2.2 Esquema de Trabajo

El proceso consta de tres pasos:

- Un PREPROCESO (trabajo previo con ArcView y HEC-GeoRAS), para generar un archivo de importación para HEC-RAS y que contiene información geométrica de las secciones transversales.
- La modelización del flujo con HEC-RAS que a su vez genera un archivo de exportación para ArcView,
- Un POSTPROCESO que genera los resultados finales: superficies de inundación para cada periodo de retorno, grids de profundidad.

7.3 Trabajo Previo con ArcView (PreRas)

7.3.1 Creación de un Nuevo Proyecto de ArcView (*File/new project*) y de una nueva vista. (*New*)

7.3.2 Generación del Modelo Digital de Elevaciones (MDE):

A partir de cartografía base comercial 3d, generamos un mdt vectorial o TIN : Se carga el archivo de cad *3dbase.dxf* y mediante la herramienta *Surface/Create TIN from Features* generamos el tin. Rellenamos la casilla *Height source* con *Shape* (en el caso de que tuviéramos un atributo con la elevación escogeríamos éste), los modelos digitales del terreno, también pueden ser descargados gratuitamente de la página del INEGI <http://geoweb.inegi.org.mx/DescargaCEM2/> solo basta con poner la clave de la carta, y se descarga el MDE que ya puede ser procesado en Arc-view.

El menu desplegable preRas: Las herramientas contenidas en este menú se muestran en el orden en el que se deben utilizar. Tal y como se ilustran (figura 7-2)

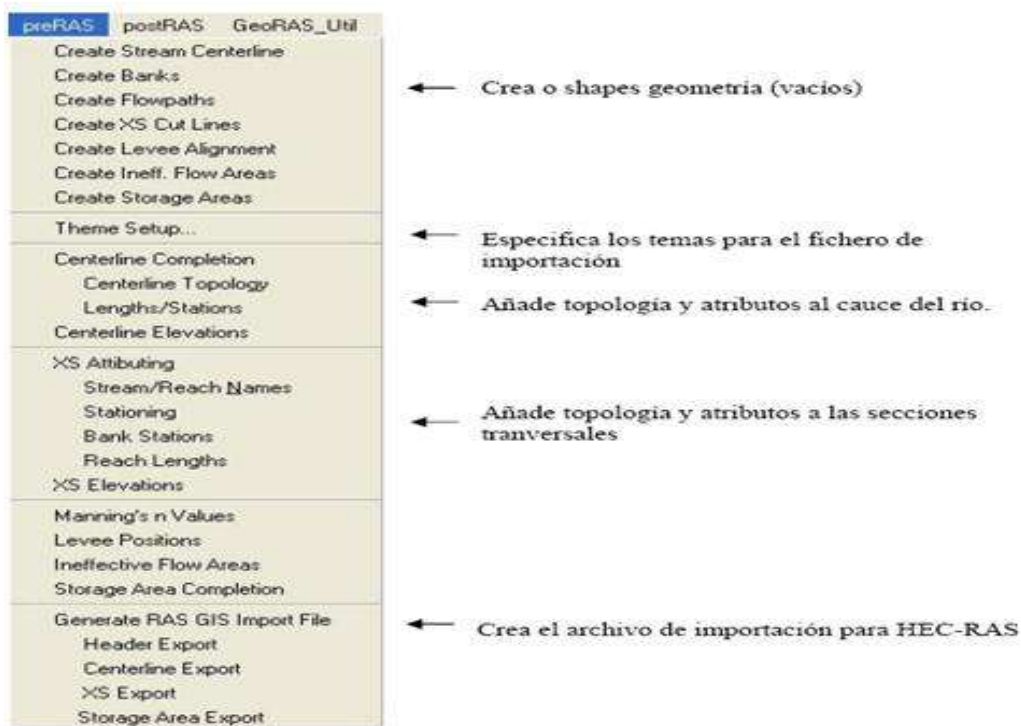



Figura7-2 Herramientas a utilizar


7.3.3 Pasos Básicos Posteriores a la Generación del TIN son:


- Dibujar el cauce, editando el tema vacío

PreRas-Create stream Centerline: introducimos el nombre o dejamos el que sale por defecto. Con esto se crea un fichero vectorial (de líneas) en el que vamos a digitalizar el eje (s) del río. Las uniones entre tramos tienen que ser perfectas, es decir ningún hueco entre ellas. Se digitaliza de aguas arriba a aguas abajo.

Las herramientas necesarias para digitalizar y dar nombre a los tramos creados son las siguientes:

Dibuja segmentos con sucesivos click del botón izquierdo del ratón que no son más que puntos de una polilínea, para cerrar la polilínea hacemos doble click sobre el botón izquierdo. Para ello utilizamos el icono .

Cuando se han digitalizado todos los tramos hay que nombrarlos con el icono  indicando el nombre del río y el curso. Pulsando este botón, primero se define el tema a editar, se va marcando tramo a tramo y en cada tramo se introduce el nombre del río y el curso.

La herramienta que se utiliza para añadir afluentes al río principal (opcional) es . Abrir la edición de "Stream centerline" y trazar con esta herramienta un segmento que corte a "stream centerline" donde enlazará el afluente. Con esto se consigue dividir "stream centerline" en dos segmentos (tramos), definidos por el afluente. Ahora hay que eliminar dos pequeños fragmentos lineales que no se necesitan. Al terminar de editar el tema cerramos la edición Theme/Stop editing.

Dibujar las líneas que definen las márgenes "banks": PreRas-Create Banks, ahora con la herramienta "draw line" digitalizamos los "bank lines" para cada tramo, recordando que se inicia de aguas arriba hacia aguas abajo. (Figura 7-3)

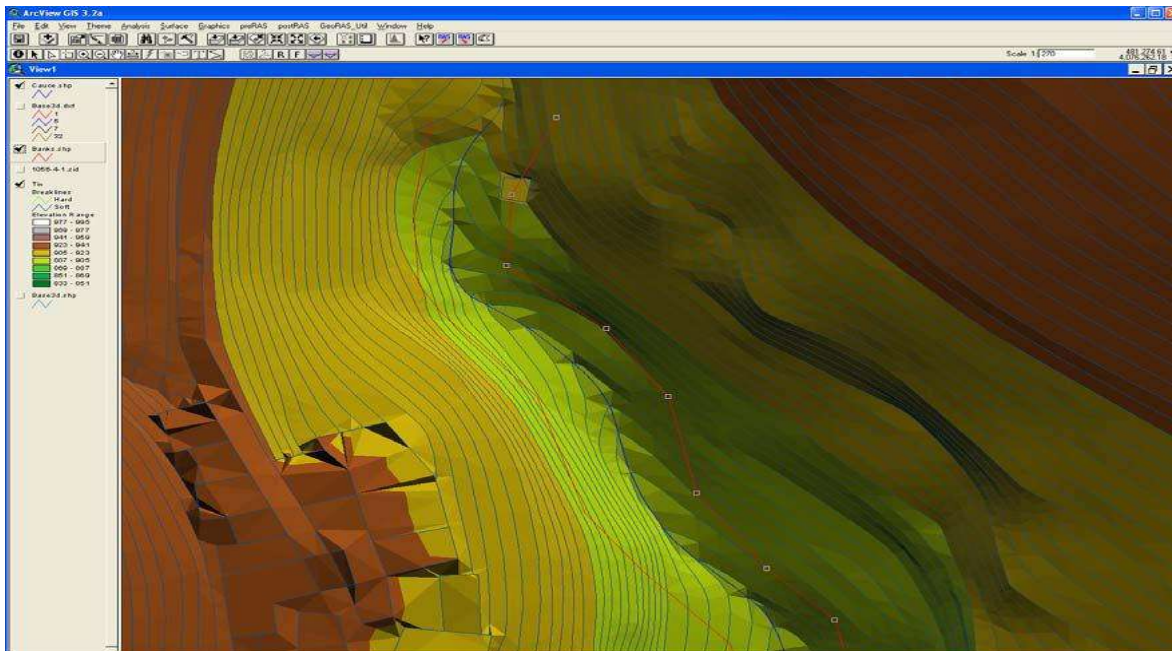



Figura 7-3 Líneas Dibujadas sobre TIN

También se tiene que dibujar los "flowpaths" o zonas por donde preveamos que circulará el flujo de agua.

PreRas-Create flowpath. El corte de estas líneas con las secciones transversales definen los puntos entre los que se medirá automáticamente, siguiendo esa línea, la distancia entre secciones por las márgenes.

Se deben digitalizar (de aguas arriba a aguas abajo) una línea por cada lado del río, incluyendo el eje del cauce principal (stream centerline), pero como este eje ya está hecho, es recomendable aceptar la opción que da el programa de copiarlo automáticamente. Es necesario definir, para cada segmento, su situación: izquierdo (left), derecho (Right) o cauce (channel). Para ello utilizamos el icono .

- Dibujar las secciones transversales

PreRas-CreateXS Cut lines: Con las secciones definidas en este paso se extraerán los datos de la geometría de las secciones transversales a partir del TIN.

No se pueden cortar dos secciones. Las secciones cortan perpendicular al flujo, se digitaliza desde el margen izquierdo a derecho y deben cortar a las líneas de flow path centerline como se ilustra (figura 7-4).

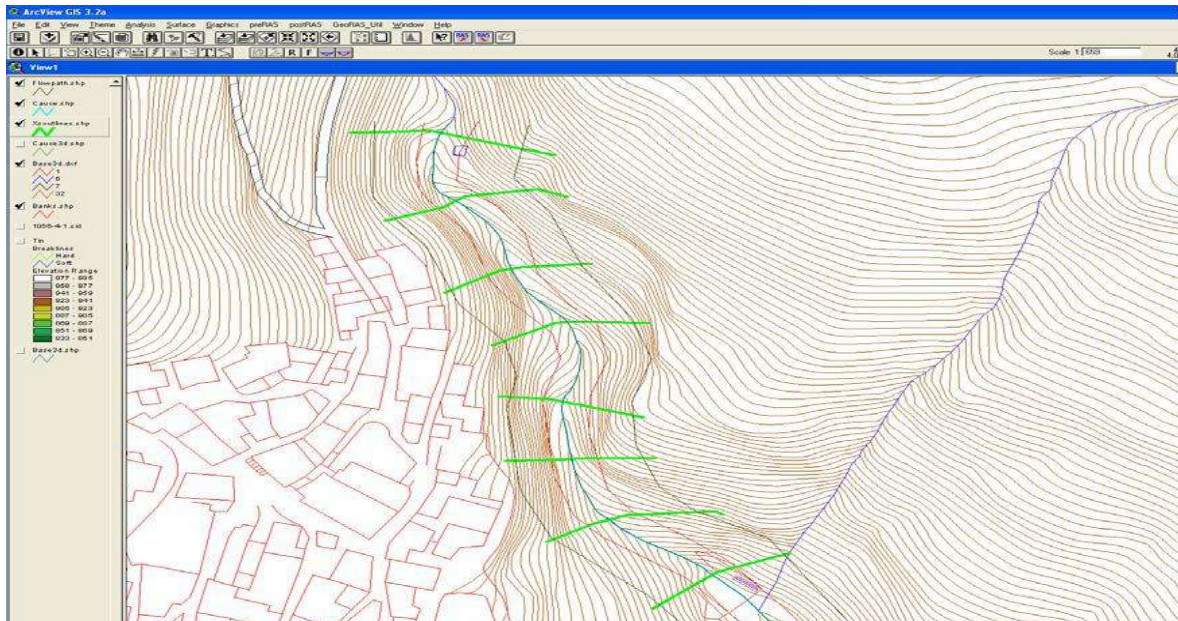


Figura 7-4 Secciones transversales sobre el modelo

Una vez teniendo esto ahora si se procede a realizar lo siguiente.

- Añadir topología y elevación al cauce (*cauce 3d*): **PreRas-Centerline Completion** Se añade información automáticamente y además se crea otro similar pero en 3 dimensiones. Es necesario seguir el orden de ejecución que se indica
- De igual forma se añade topología y elevación a las secciones transversales (*secciones 3d*). **PreRas-XS Attributing**
- Indicar los Ras themes o ficheros a incluir en el archivo de importación. **PreRas-Theme Setup**
- Crear el fichero de exportación para HEC-RAS: **PreRas- Generate Ras Gis import file**, que prepara el fichero que posteriormente será leído por Hec-Ras. Este fichero de texto con formato *.sdf* se almacena en carpeta en la cual está el resto de temas.

Ya exportado el archivo se trabaja con Hec-Ras, los pasos para trabajar son descritos en este mismo trabajo en el capítulo VI.

Recordando que tenemos que realizar lo siguiente.

- Crear un nuevo proyecto (*tributario.prj*)
- Editar la geometría: Edit/Geometric Data

Importar el archivo de geometría: File/ Import geometry Data/GIS format buscando el archivo. *sdf* generado por ArcView

En las opciones de importación elegir Unidades del sistema métrico SI (metric) unit.

En el desplegable *Tables/Manning's n or k values...* rellenar los valores de n para el cauce y las laderas.

Salvar el archivo de geometría *File/Save Geometry Data*

- Introducir los datos hidráulicos *Edit/Steady Flow Data*

Salvar el archivo de datos de flujo *File/Save Flow Data*

- Correr el modelo y revisar las salidas
- Generar un archivo de exportación *File/export GIS Data (trb.RASexport.sdf)*.

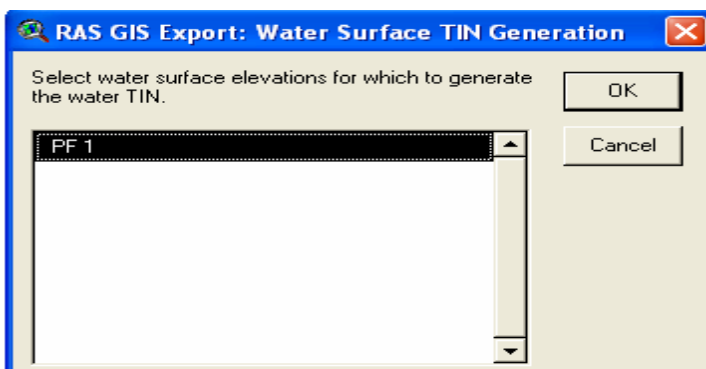
7.3.4 Trabajo Final con ArcView (PostRas)

Desde el desplegable *postRAS* elegir *theme setup* y buscar los datos que se solicitan.

En *output directory* introducir un nombre sencillo sin ruta de disco. El último apartado *Rasterization cell size* se refiere al tamaño de pixel que tendrán los datos resultantes.

Leer el archivo de exportación. *postRAS/Read RAS GIS Export File*: crea y lee una serie de temas y los coloca en la vista. Entre ellos el TIN, y unos ficheros vectoriales BP (Bounding Polygons), que son la superficie de ocupación de las secciones transversales (habrá tantos de estos BP como perfiles haya, y lógicamente serán idénticos).

Con *PostRas-Ws TIN Generation*, el tin va a ser recortado por "bounding polygon". En la siguiente ventana de dialogo que aparece seleccionar todos los perfiles.



PostRas-Floodplain Delineation, En este proceso se crearán las zonas de inundación para cada perfil, es decir para cada caudal que se haya establecido en Hec-Ras. Además se genera un grid con el calado o profundidad (Figura 7-5 y 7-6).

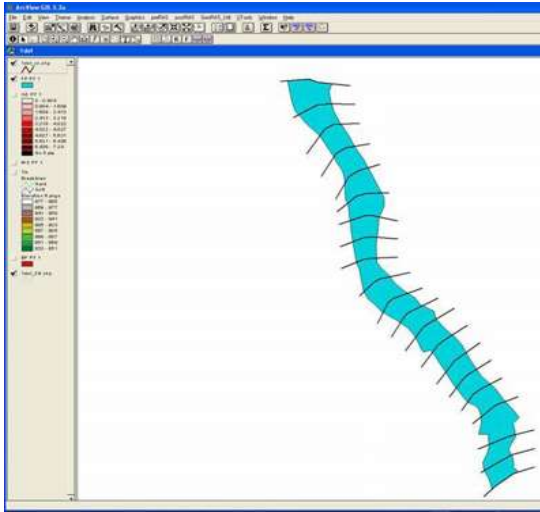


Figura 7-5 Llanura de inundación

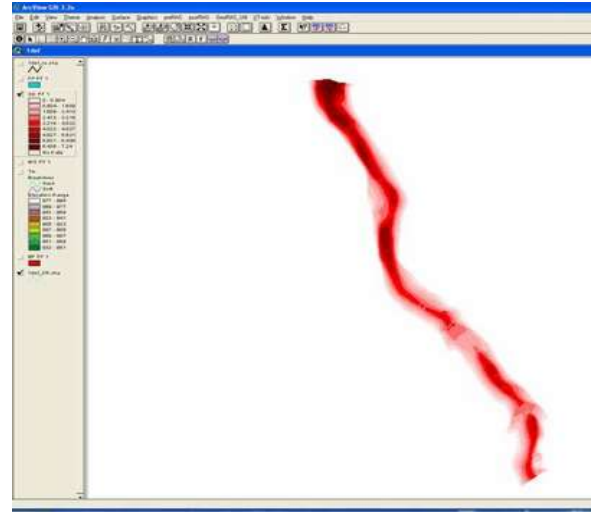


Figura 7-6 Grid de profundidad

BIBLIOGRAFIA

- Environmental Systems Research Institute (1996). *ArcView Gis: Using ArcView GIS*, ESRI inc, Redlands, California
- Hydrologic Engineering Center (2002a) *HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. Version 3.1. CPD-69*. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California.
- Hydrologic Engineering Center (2002b) *HEC-RAS River Analysis System. User's Manual. Version 3.1.CPD-68*. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California.
- Hydrologic Engineering Center (2002c).*HEC-GeoRAS, An extension for support of HEC-RAS using ArcView. Version 3.1. User's Manual. CPD-76*. U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California
- Hydrologic Engineering Center (2002d). *HEC-RAS River Analysis System, Applications Manual, Version 3.1*, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California

8.- DESARROLLO DE MAPAS DE INUNDACION PARA LA PIEDAD MICHOACAN.

8.1 Información Disponible de la Piedad Michoacán

Para el desarrollo de mapas de la Piedad, tenemos topografía real, levanta con estación total, tenemos curvas de nivel a 0.1 mts además de la ubicación y detalles de los puentes y además de las intersecciones de las corrientes de los demás arroyos, como son (A. Hondo, A. Cinco de Oros y A. el Tigre).

8.2 Obtención de un MDT en Formato TIN

HEC-GeoRAS requiere un modelo digital del terreno (MDT) en forma de TIN (Triangulated irregular network).

En este trabajo se ha obtenido una TIN a partir de un archivo de CAD, con lo cual queda recogido un caso muy habitual en los casos cotidianos en los que no se dispondrá de un modelo digital del terreno directamente. El archivo de CAD que se utilice es imprescindible que esté en 3D, es decir que sus curvas de nivel tengan asociada la propiedad de cota. Para ello realizamos lo siguiente.

1. Convertir el archivo de CAD (normalmente AutoCAD o MicroStation) a formato dxf. Para esto lo ideal es dejar el dibujo solo con curvas de nivel, sin números ni textos, ya que estos elementos dificultan la creación de un buen TIN.

2. Importar desde ArcView el archivo dxf.

Para realizar esta operación es imprescindible disponer de la extensión CAD Reader para ArcView. Debemos importar solo las líneas del dibujo dxf. Para añadir "capas" a nuestro proyecto hemos de usar la orden *Add Theme* (añadir tema):

Una vez clicamos en *Add Theme* hemos de buscar nuestro archivo dxf e importar solo las curvas de nivel. Esto se hace seleccionando dentro del menú desplegable que nos aparece si clicamos encima del icono con fondo amarillo que aparece al lado del nombre del archivo dxf (en nuestro caso "*Meandro*"). (Figura 8-1)

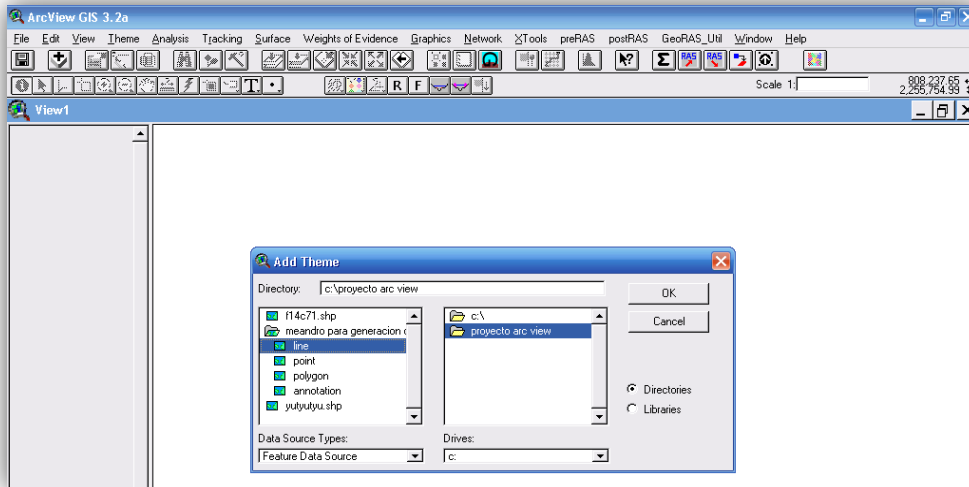


Figura 8-1 Importación del Meandro en formato DXF a Arc View

Ahora ya hemos importado el archivo dxf y lo tenemos en nuestro proyecto ArcView. Para poder convertirlo en una TIN primero debemos convertirlo en una “shape” (“capa” de ArcView) (Figura 8-2).

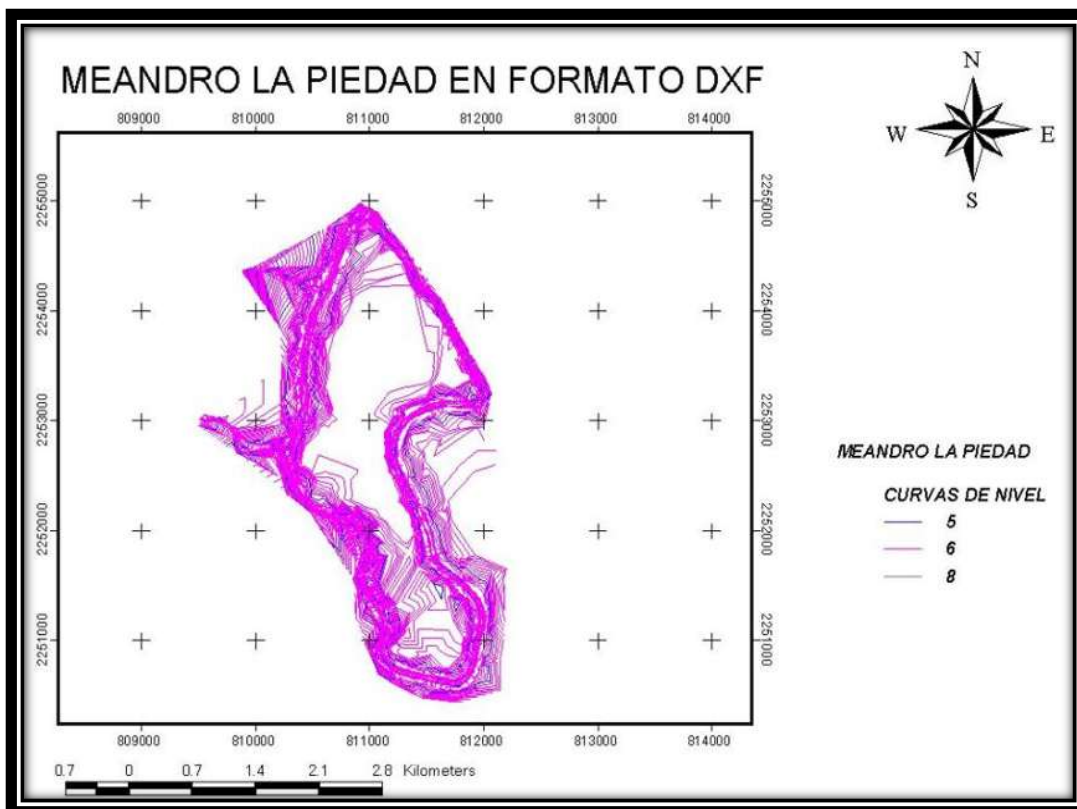


Figura 8-2 Mapa de Meandro la Piedad en Formato DXf

Ahora bien el meandro ya convertido en TIN nos queda de la siguiente manera (Figura 8-3).

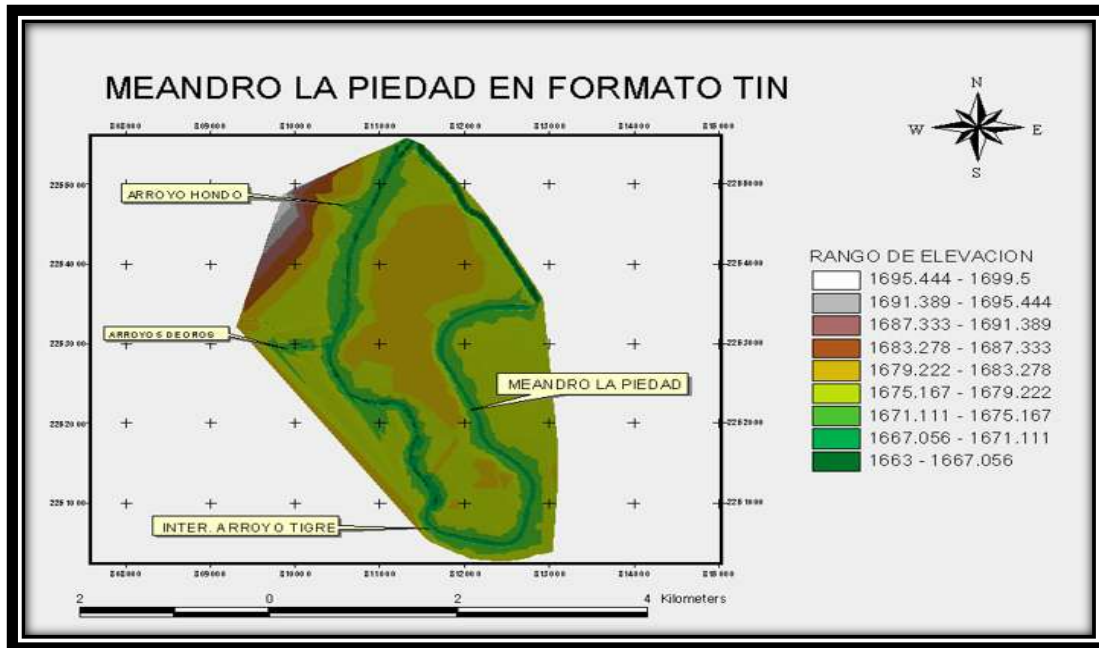


Figura 8-3 Mapa de; Meandro la Piedad en Formato TIN

8.2.1 Creación de Archivo de Intercambio Para Importar a HEC-RAS

Para crear el archivo de intercambio para importar datos a HEC-RAS básicamente hemos de seguir el menú “preRas” en el orden de arriba hacia abajo. El primer paso es la creación del cauce de nuestro río, siguiendo la secuencia como se ilustra (figura 8-4).

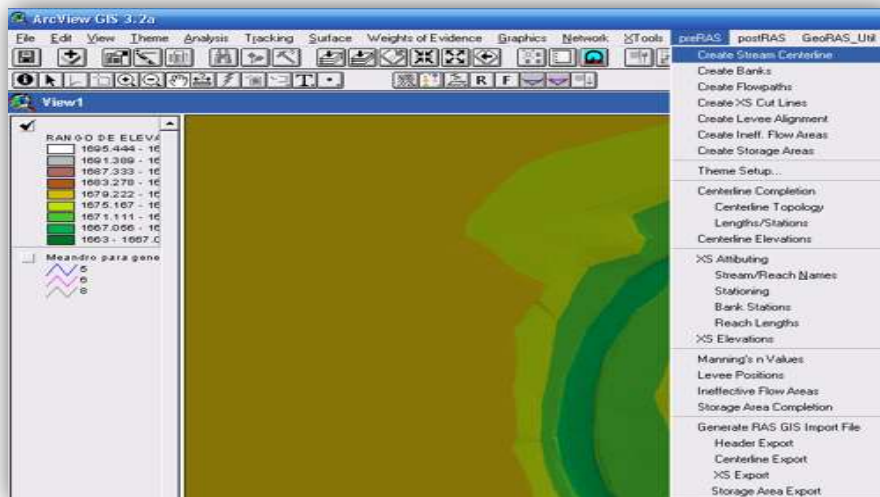


Figura 8-4 Creación del Cauce del Meandro

Se nos pedirá el nombre que queremos dar al archivo y dónde queremos guardarlo, una vez realizado nos queda lo siguiente (figura 8-5).

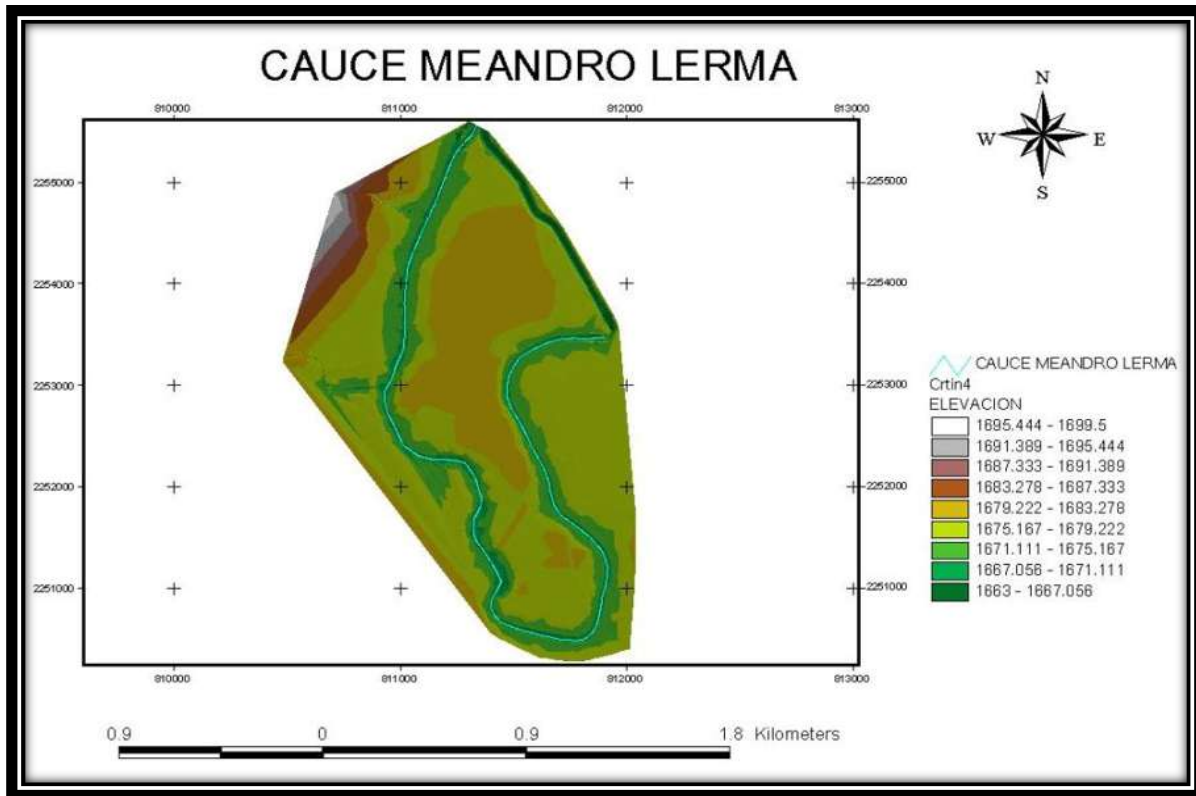


Figura 8-5 Mapa del Cauce del Meandro

El siguiente paso es la creación de los “banks”, que delimitará el cauce principal frente a las llanuras de inundación. Hemos de ser cuidadosos en este punto ya que la posición donde pongamos los “banks” tendrá una repercusión en el cálculo de la rugosidad, ya que HEC-RAS trata de diferente forma al cauce principal que a las llanuras de inundación. Se da el caso que una misma sección con los mismos coeficientes de rugosidad obtendría una rugosidad media diferente colocando los “banks” en distintas posiciones (Figura 8-6).

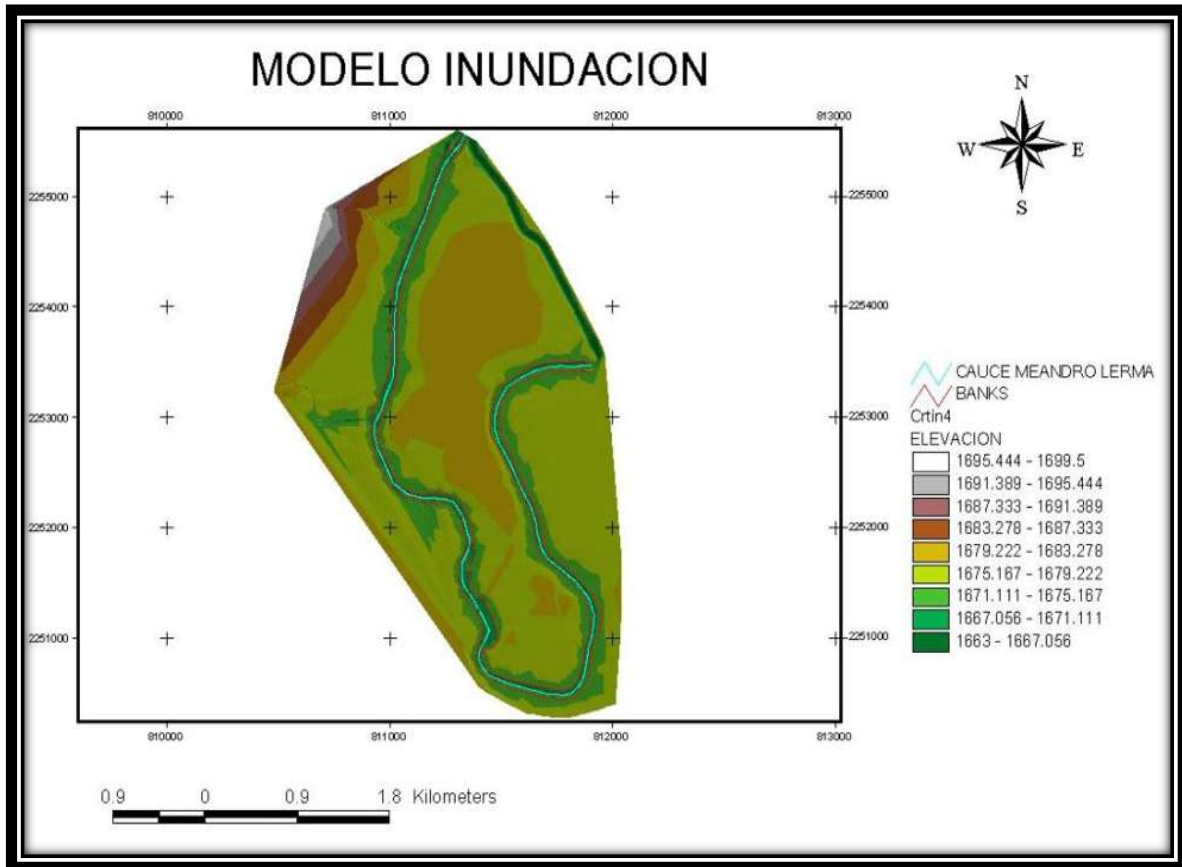


Figura 8-6 Mapa de Cauce Con Banks

Lo siguiente es la creación de los “Flowpaths”, que indican las zonas por donde proveemos que el agua circulará preferentemente por el cauce principal y las dos llanuras de inundación. Los “Flowpaths” serán utilizados por HEC-GeoRAS para determinar las distancias entre secciones tanto en el cauce principal como en las llanuras de inundaciones recordando que se deben digitalizar (de aguas arriba a aguas abajo) una línea por cada lado del río, incluyendo el eje del cauce principal (stream centerline), pero como este eje ya está hecho, es recomendable aceptar la opción que da el programa de copiarlo automáticamente. Es necesario definir, para cada segmento, su situación: izquierdo (left), derecho (Right) o cauce (channel). Para ello utilizamos el icono **F**. Como se ilustra (Figura 8-7).

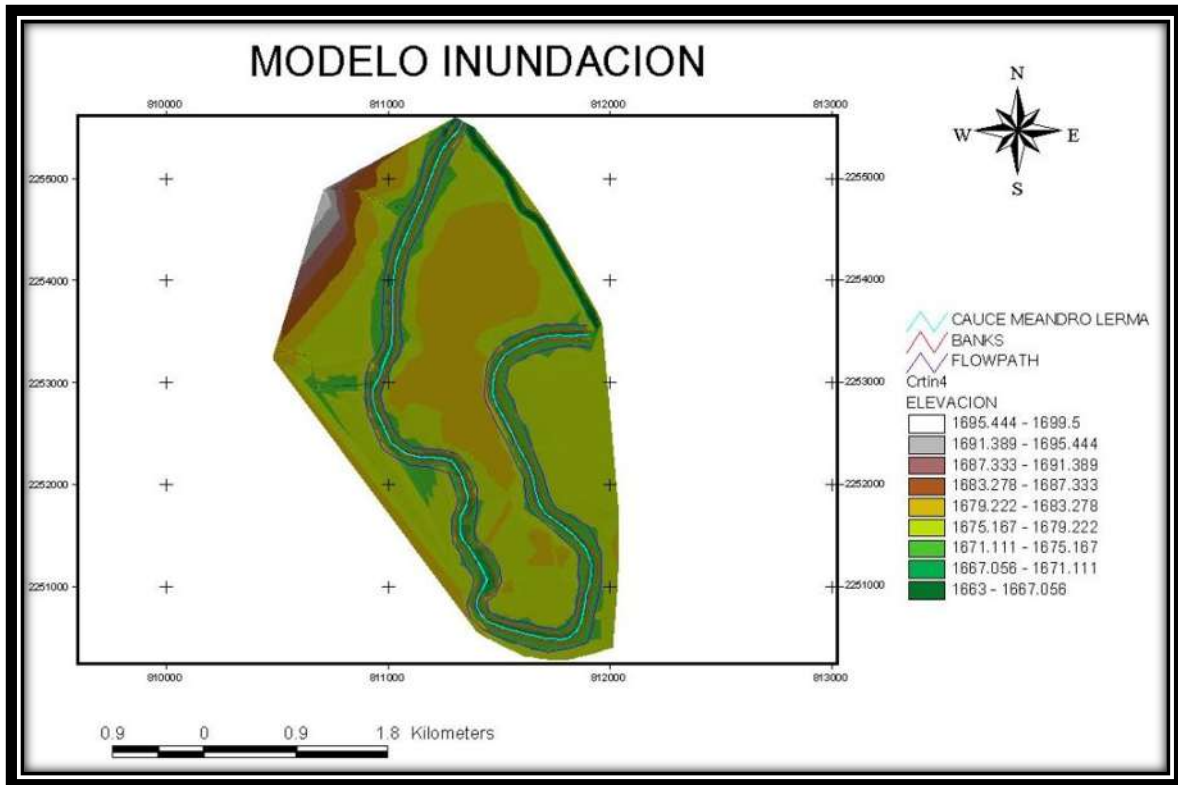


Figura 8-7 Mapa de Cauce con Flowpath.

El próximo paso es la creación de las secciones transversales. La elección de los puntos donde ubicaremos las mismas debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Debemos recoger información de puntos singulares como por ejemplo estrechamientos.
- La separación de las secciones estará en función de la uniformidad de la geometría: a más uniformidad más distancia entre secciones.
- En los sitios donde preveamos una inestabilidad en el flujo (Por ejemplo cambio brusco en el fondo del lecho) nos interesará obtener secciones con poca separación entre ellas ya que eso influirá positivamente en la estabilidad del modelo.

Hasta ahora hemos dibujado el cauce, los banks, los Flowpaths y las secciones transversales, pero todos ellos son dibujos en 2D.(Figura 8-8)

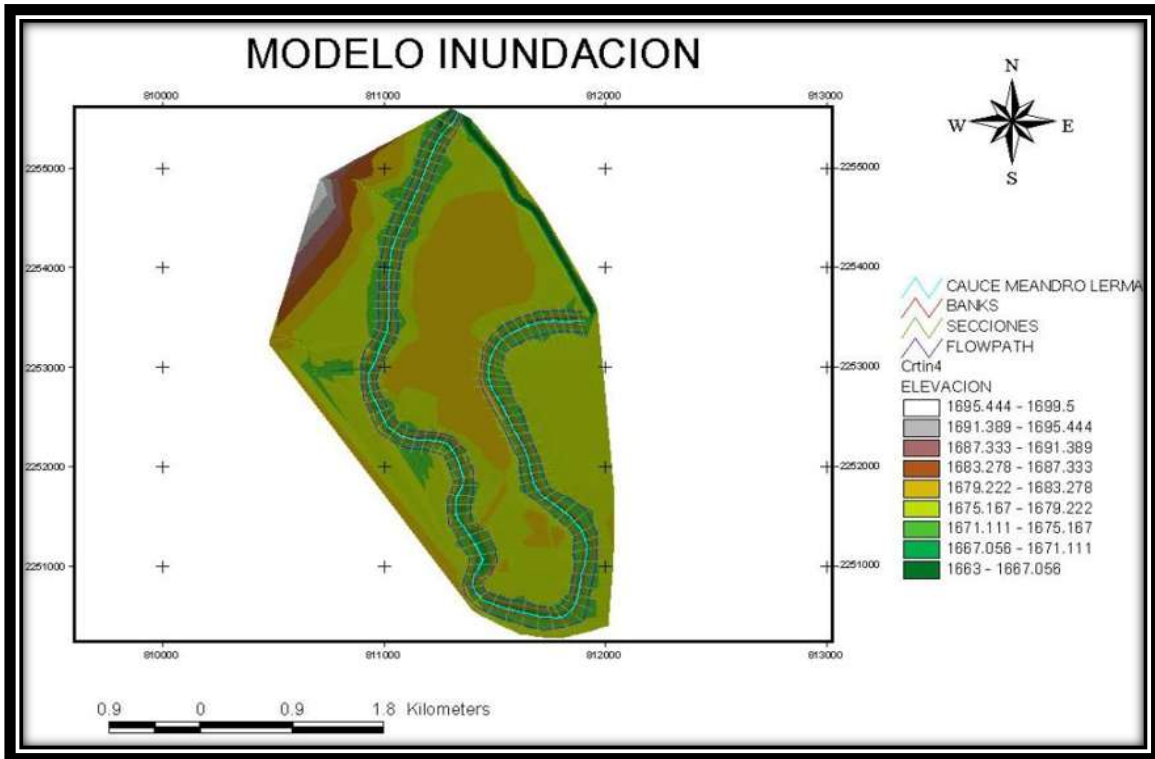
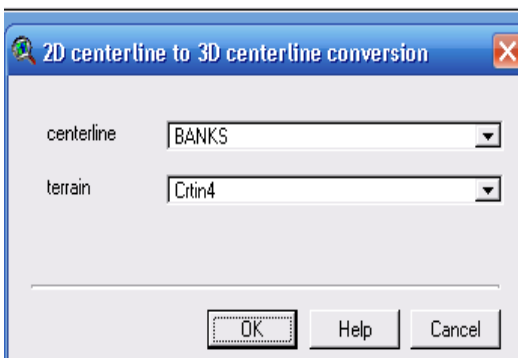


Figura 8-8 Mapa con Secciones Transversales

Para pasar la información a HEC-RAS necesitamos tener información en 3D. Hec-GeoRAS genera un cauce y unas secciones transversales en 3D posteriormente el programa solo los pasa a formato shp, pidiendo la ruta donde se guardara. Para ello siguiendo los pasos que se detallan primero en la opción de Pre-ras, donde tenemos la opción de centerline 3d al igual que secciones 3d y nos presentara la siguiente ventana, aceptamos y nos da la opción de guardarla en formato shp.



Para configurar todos los datos necesarios para la creación del archivo para importar a HEC-RAS hemos de seleccionar *preRas* → *Theme Setup*: (figura 8-9)

Nos aparecerá la siguiente ventana, donde hemos de especificar el TIN que usaremos, el nombre del archivo que crearemos y hemos de asegurarnos que los

archivos de cauce, secciones transversales, banks... sean correctos. También cabe destacar que es bueno poner un nombre con el que se exportaran los datos en *RAS GIS Import file, en formato sdf.*

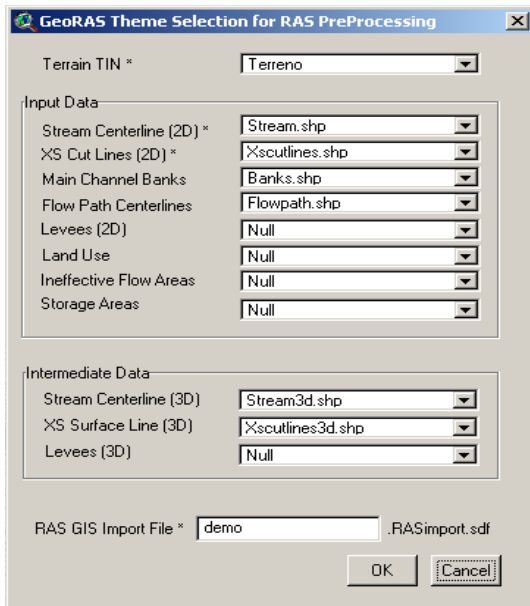


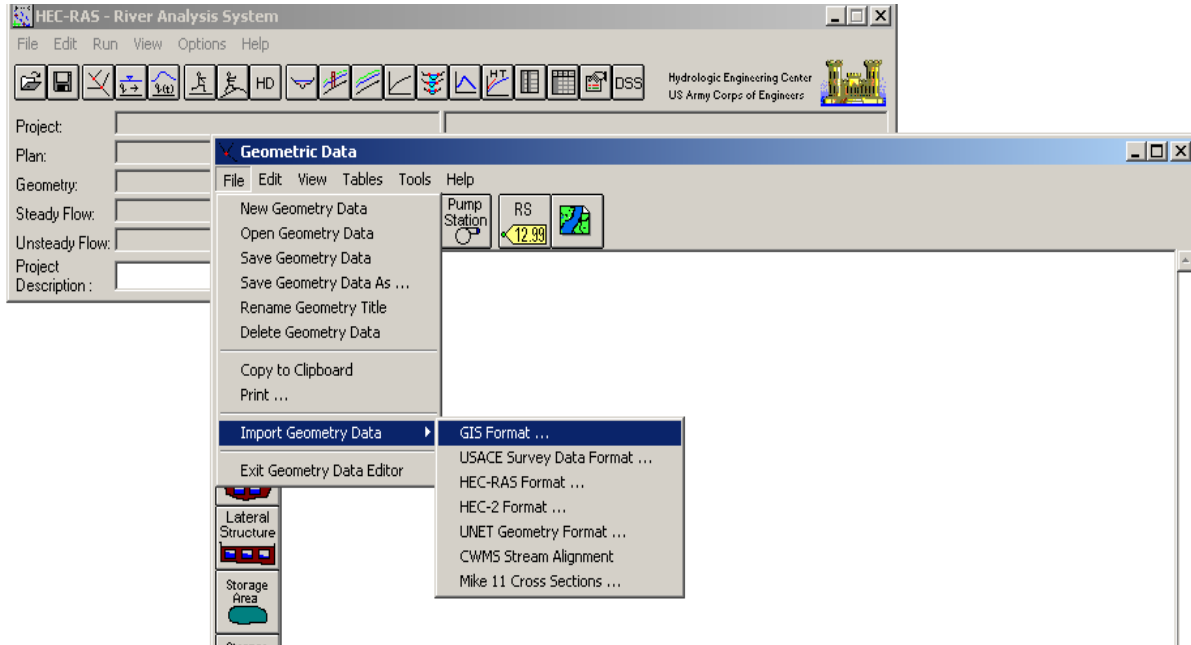
Figura 8-9 Datos a Configurar Para exportar a Hec-Ras

Una vez comprobado todo seleccionamos preRas→Generate RAS GIS Import File. (Figura 8-9)Con esto ya tenemos nuestro archivo listo para ser importado desde HEC-RAS.

8.2.3 Simulación de Meandro con HEC-RAS

Importar geometría desde ArcView

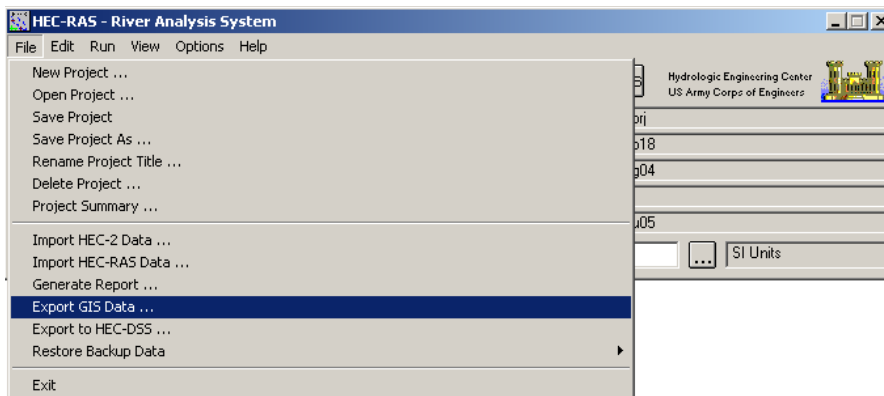
Desde HEC-RAS hemos de entrar en Edit→Geometric Data y posteriormente en File→Import Geometric Data→GIS Format. Para ello tenemos que guardar el proyecto primero recordando ponerle el sistema de unidades métricas, también guardar Geometric Data, y ahora podemos importar nuestro proyecto a Hec-Ras, para ello lo podemos hacer como se muestra en la siguiente ventana.



Una vez teniendo ya importadas las secciones y el meandro se empieza a realizar la modelación. (Todas los parámetros a considerar de la modelación se realizo en el capítulo V).

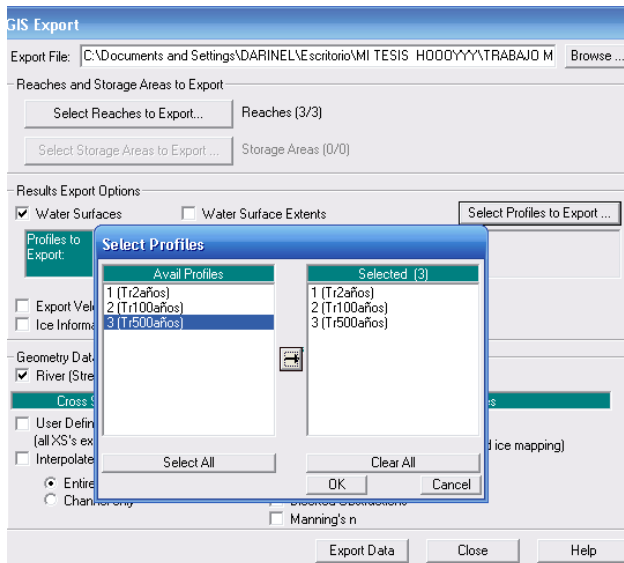
8.2.4 Exportar Resultados de HEC-RAS a ArcView

Para crear el archivo de intercambio de datos entre HEC-RAS y ArcView hemos de seleccionar File→Export GIS Data, tal y como se muestra en la siguiente ventana.

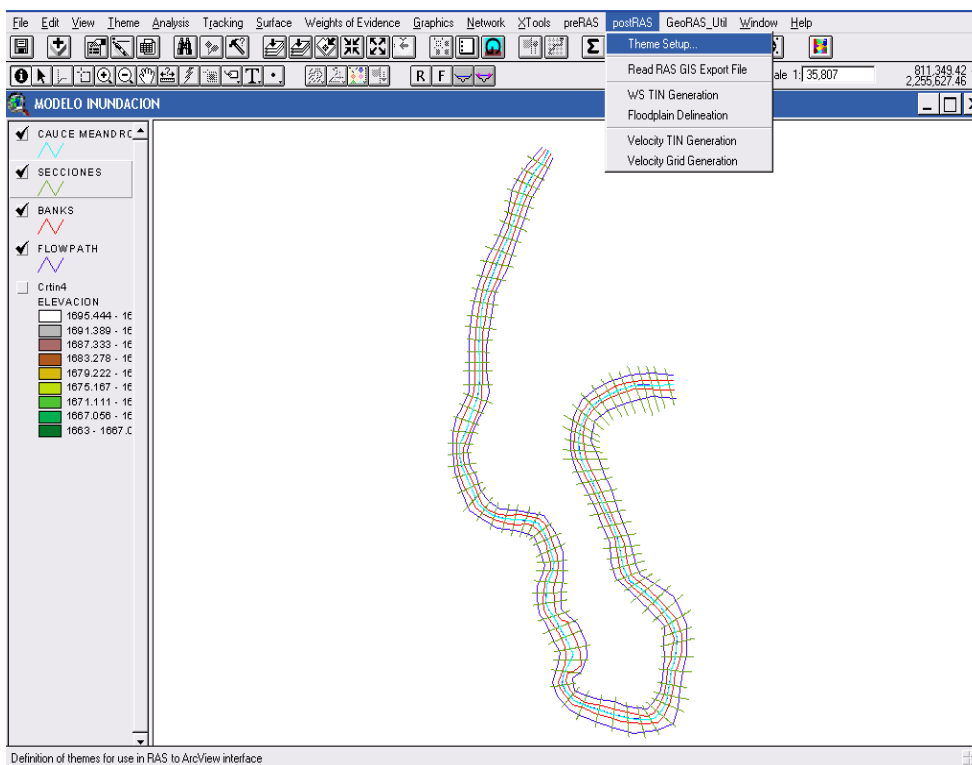


En el paso siguiente hemos de dar nombre al archivo de salida y especificar donde se va a guardar el fichero. También hemos de seleccionar qué archivos de salida queremos importar a ArcView de todos los que hayamos creado durante la simulación como son los diferentes periodos de retorno y especificar si queremos

importar también los datos de velocidad (por defecto los datos de velocidad no se exportan), solo aceptamos y exportamos datos. En la siguiente ventana se puede apreciar que las simulaciones exportadas son las correspondientes a los periodos de retorno de 2,100 y 500 años



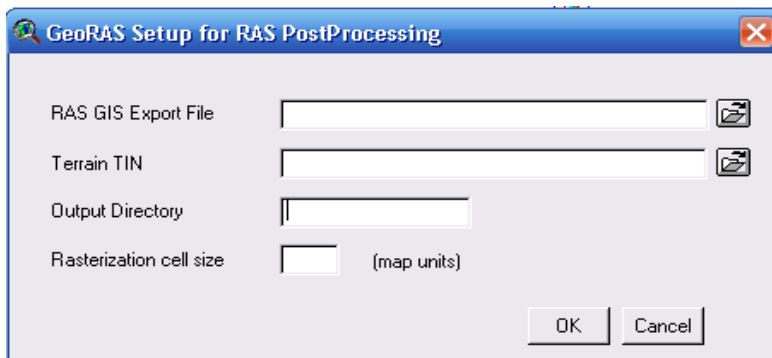
Una vez creado el fichero de intercambio HEC-RAS→ArcView abrimos este último y clicamos en postRas→Theme Setup como se muestra en la siguiente ventana.



El programa nos presenta la siguiente ventana, la cual debemos de llenar los datos que ahí nos piden.

En *RAS GIS Export File*, se busca el archivo exportado de Hec-Ras, en *Terrain TIN*, se busca donde esta generado el TIN, es decir el que generamos con las curvas de nivel.

En *output directory* introducimos un nombre sencillo sin ruta de disco, es decir solo un nombre donde se almacenaran los datos. El último apartado *Rasterization cell size* se refiere al tamaño de pixel que tendrán los datos resultantes, se puede escoger un número cualquiera, para nuestro caso escogimos 10.



Al leer el archivo de exportación. *postRAS/Read RAS GIS Export File* (figura 8-10) crea y lee una serie de temas y los coloca en la vista. Entre ellos el TIN, y unos ficheros vectoriales BP (Bounding Polygons), que son la superficie de ocupación de las secciones transversales (habrá tantos de estos BP como perfiles hay, y lógicamente serán idénticos).

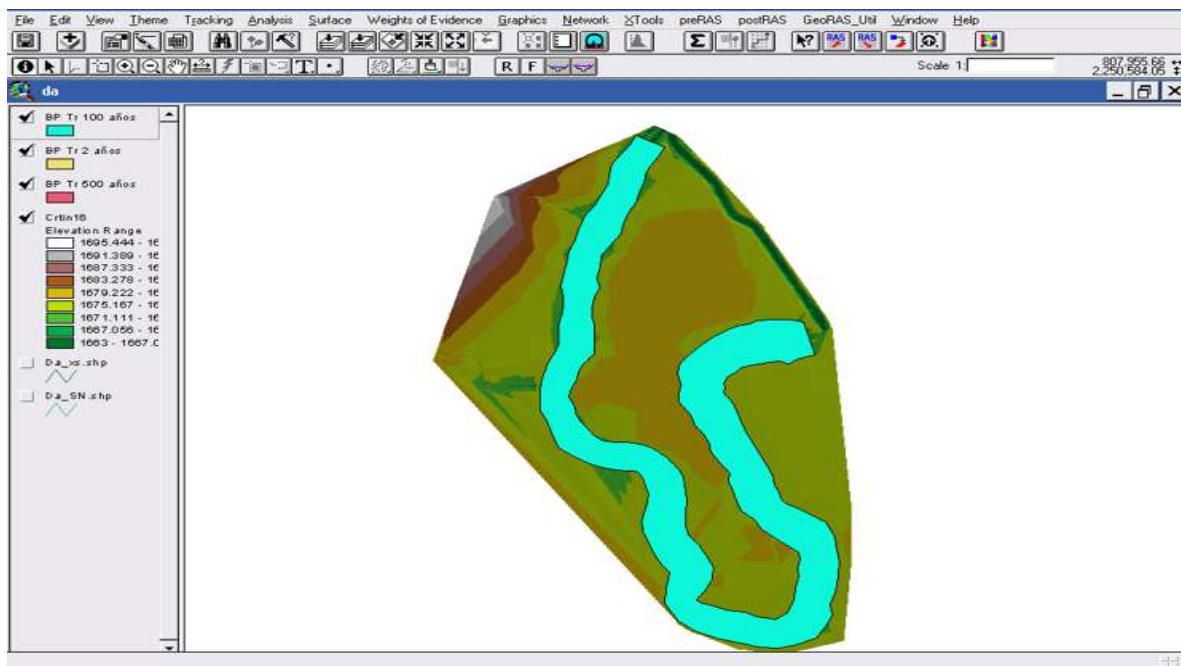
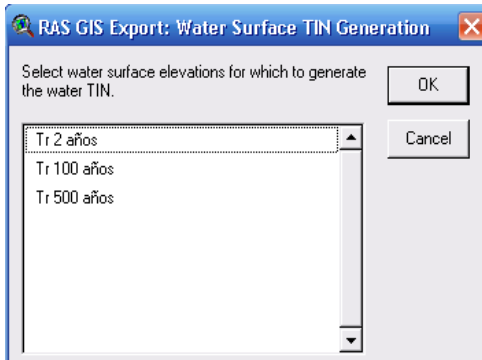


Figura 8-10 Datos Leídos de los Diferentes Peridos de Retorno

8.2.5 Tratamiento de Resultados con ArcView

Para la creación de los mapas de inundación en el meandro de la piedad el primer paso es crear una TIN con la lámina de agua clicando en *postRAS*→*WS TIN Generation*, al realizarlo se nos presenta la siguiente ventana de dialogo, seleccionar todos los perfiles asociados a los diferentes periodos de retorno lo cual escogemos todos.



Una vez realizado lo anterior nos arroja los siguientes resultados (figura 8-11)

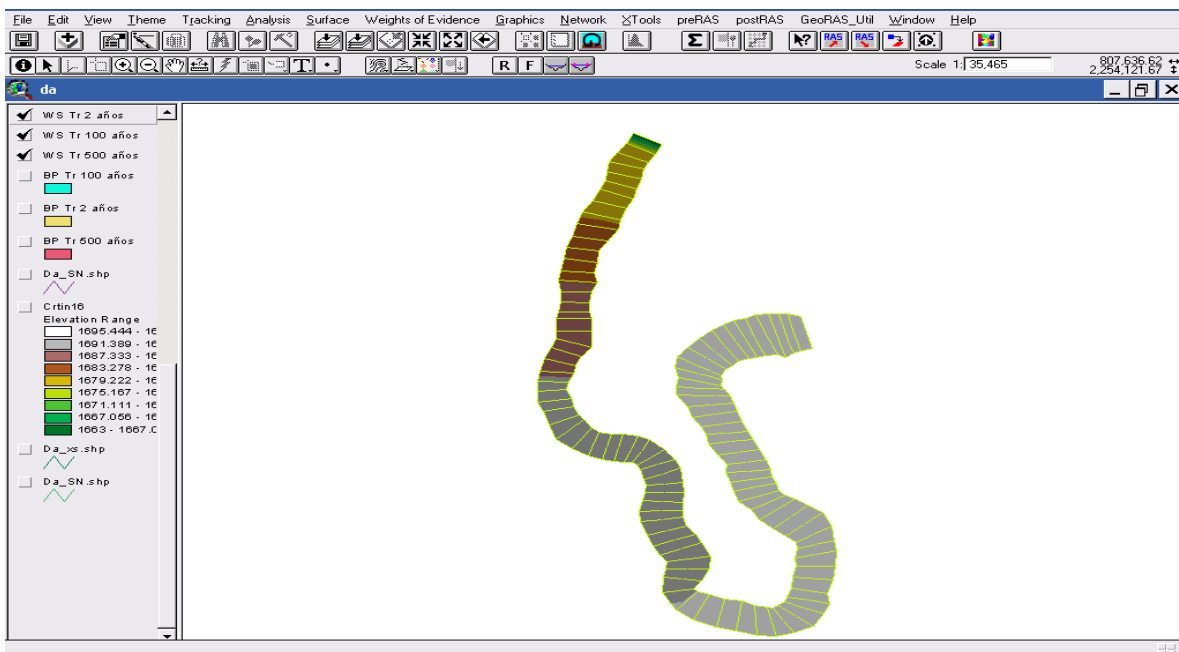


Figura 8-11

Una vez tenemos el TIN con las cotas de superficie de lámina de agua hemos de activar la función *postRAS*→*Floodplain Delineation*.

PostRas-Floodplain Delineation, En este proceso se crearán las zonas de inundación para cada perfil, es decir para cada caudal que se haya establecido en

Hec-Ras (Tr 2 años, Tr 100 años y Tr 500 años). Además se genera un grid con el calado o profundidad. En el siguiente mapa (Figura 8-12) se presenta la lámina de agua que alcanza para un periodo de retorno de 2 años.

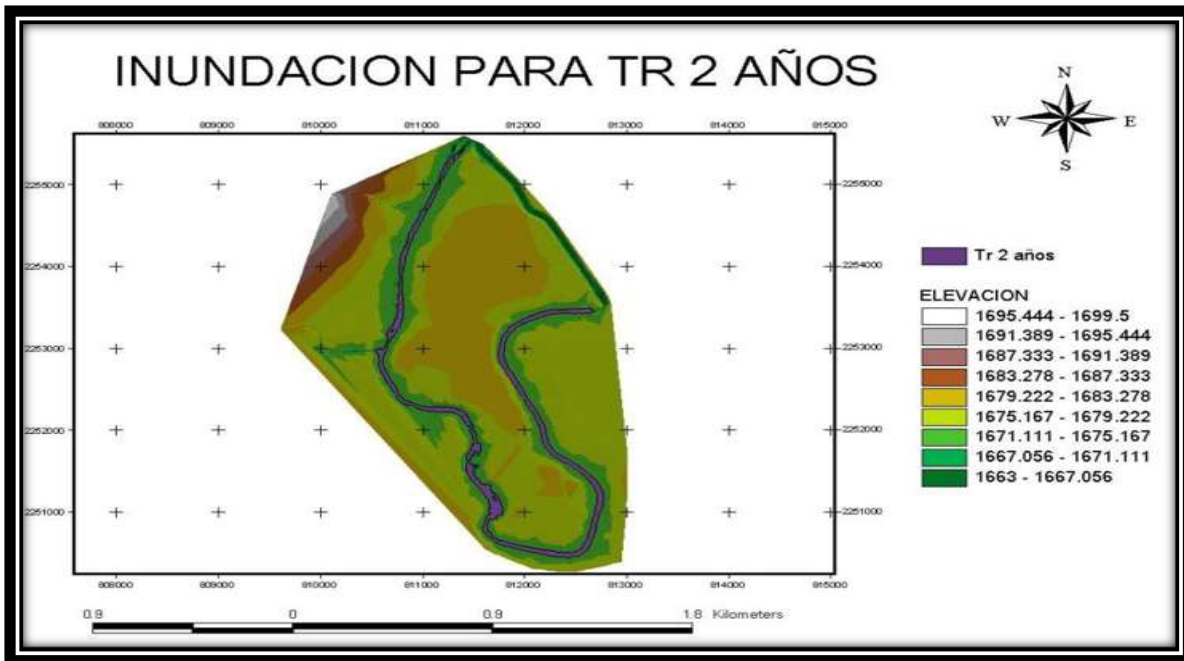


Figura 8-12 Lámina de agua para un Tr 2 años

Ahora bien para un periodo de retorno de 100 años se puede observar también la lámina de agua alcanzada en el meandro. (Figura 8-13).

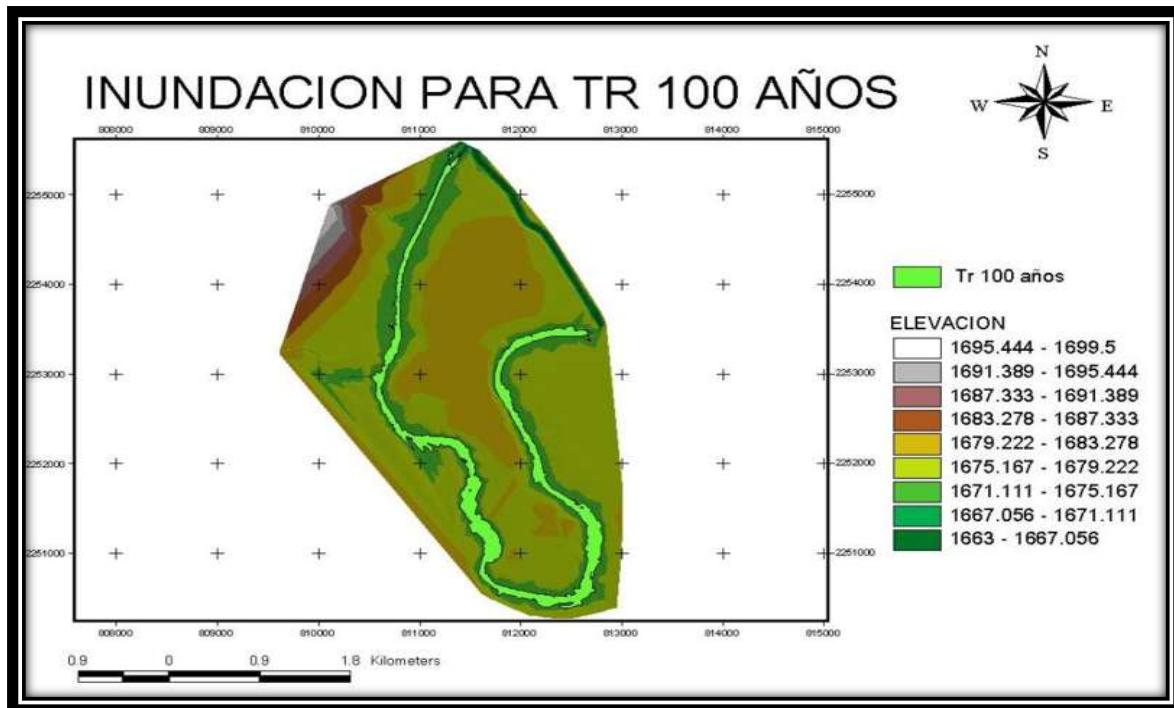


Figura 8-13 Lámina de agua para Tr 100 Años

Y por último para el periodo de retorno de 500 años se presenta la superficie alcanzada.(Figura 8-14)

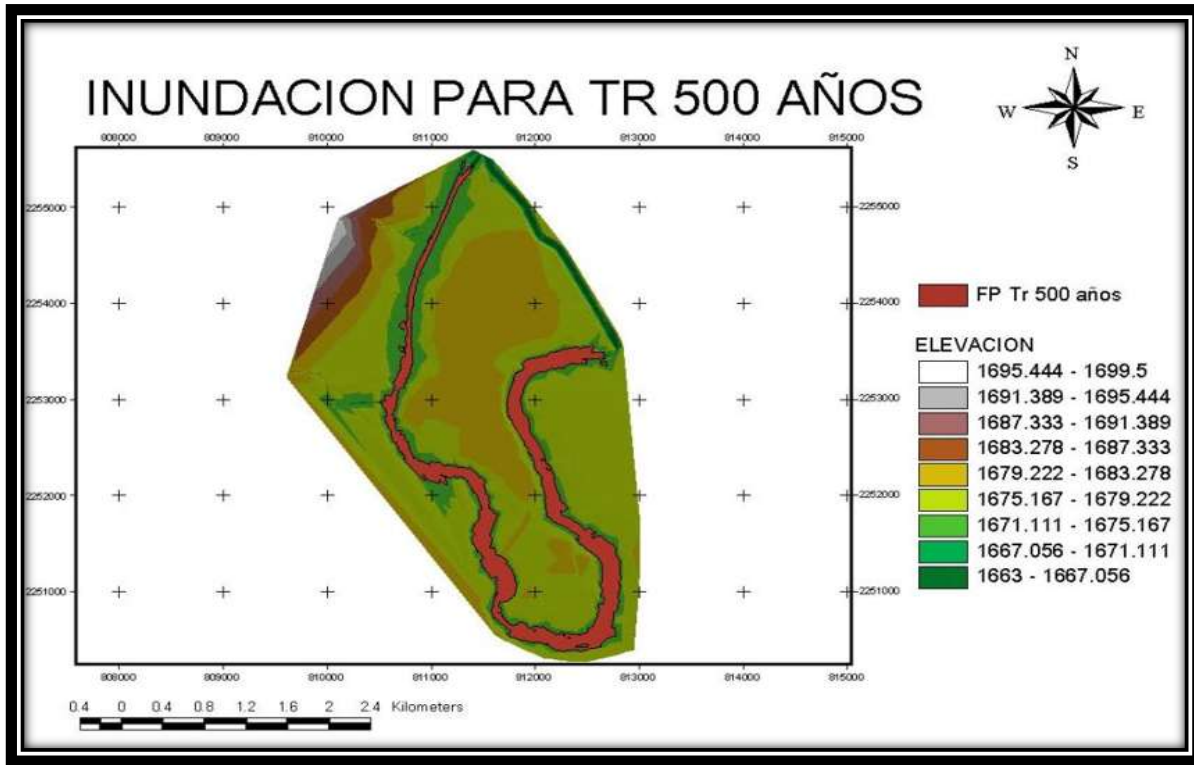


Figura 8-14 Lámina de Agua para Tr 500 Años

En resumen tenemos ahora la lamina de agua alcanzada por los 3 diferentes periodos de retorno (2,100 y 500 años) en el meandro de la Piedad. (Figura 8-15)

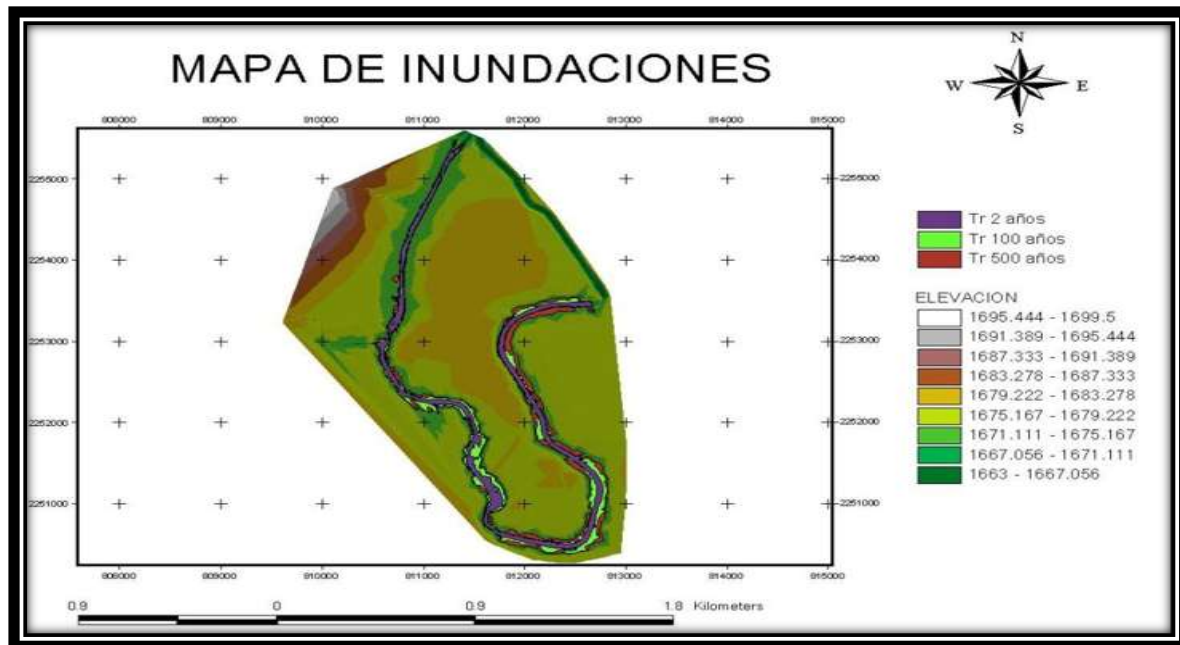


Figura 8-22 Mapa de Láminas para los Diferentes Periodos de Retorno (2,100 y 500)

9.- ANALISIS DE RESULTADOS

9.1 Lámina de Agua Para los Diferentes Periodos de Retorno

En la topografía obtenida en campo tenemos la ubicación de las calles y construcciones que son aledañas al meandro, una vez modelado el proyecto tenemos las intersecciones y las calles que se inundan para cada periodo de retorno (2,100 y 500 años), como se puede ilustrar en los siguientes figuras.



Figura 9-1 Mapa de Inundación Para Tr 2 Años.

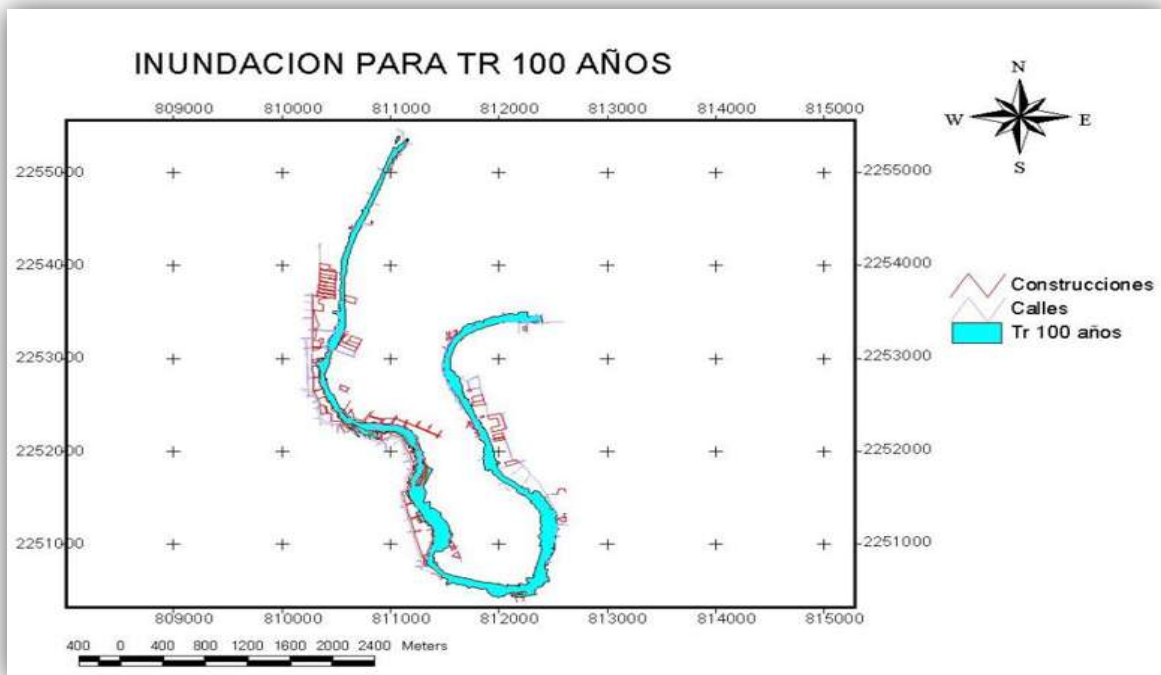


Figura 9-2 Mapa de Inundación Para Tr 100 Años

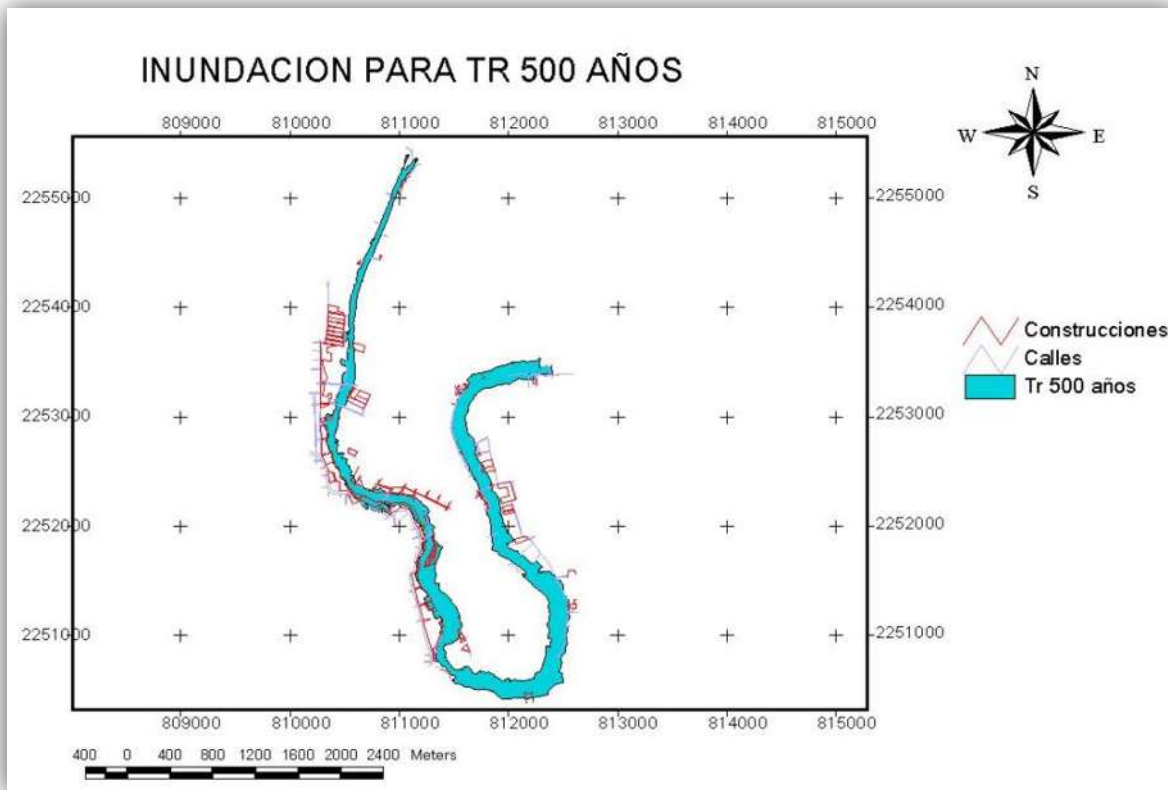


Figura 9-3 Mapa de Inundación Para Tr 500 años

9.2 Identificación de Zonas Inundables

Para identificar a detalle las calles que son afectadas lo hacemos para cada periodo de retorno, además de hacer acercamientos sobre las zonas afectadas del meandro y lo identificamos con la ayuda del programa *GOOGLE EARTH* de uso público.

9.2.1 Identificación de Zonas Inundables Para Tr 2 años

Por lo tanto para un periodo de retorno de 2 años tenemos las siguientes calles inundadas. Como podemos observar en el siguiente mapa tenemos que las calles inundadas son (BORDO DEL RIO LERMA, RIO BRAVO Y RIO CONSULADO) (Figura 9-4).



Figura 9-4 Mapa Calles Inundadas Para Tr 2 Años

Para una mejor apreciación tenemos una macrolocalización por medio del programa Google Earth, (Figura 9-5).

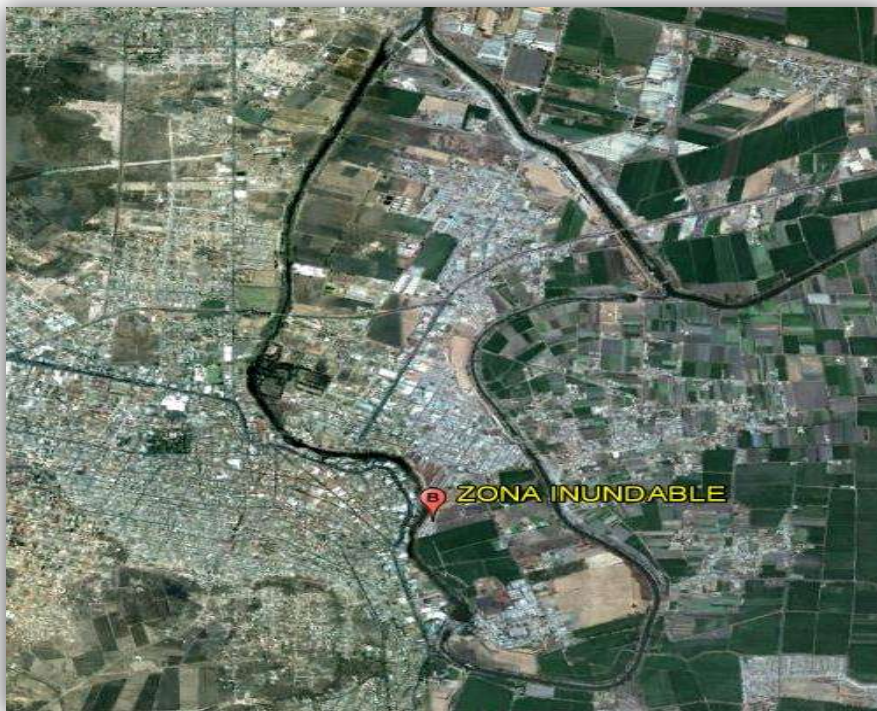


Figura 9-5 Macrolocalización de calles inundadas para Tr 2 años

Además tenemos una microlocalización de la zona inundable del mapa 9-4.



Figura 9-6 Microlocalización de Calles Inundables Para Tr 2 Años

9.2.2 Identificación de Zonas Inundables Para Tr 100 años

Ahora bien para un periodo de 100 años tenemos las siguientes calles inundadas. Como podemos observar en el siguiente mapa tenemos que las calles inundadas son (GUANAJUATO), (Figura 9-7).

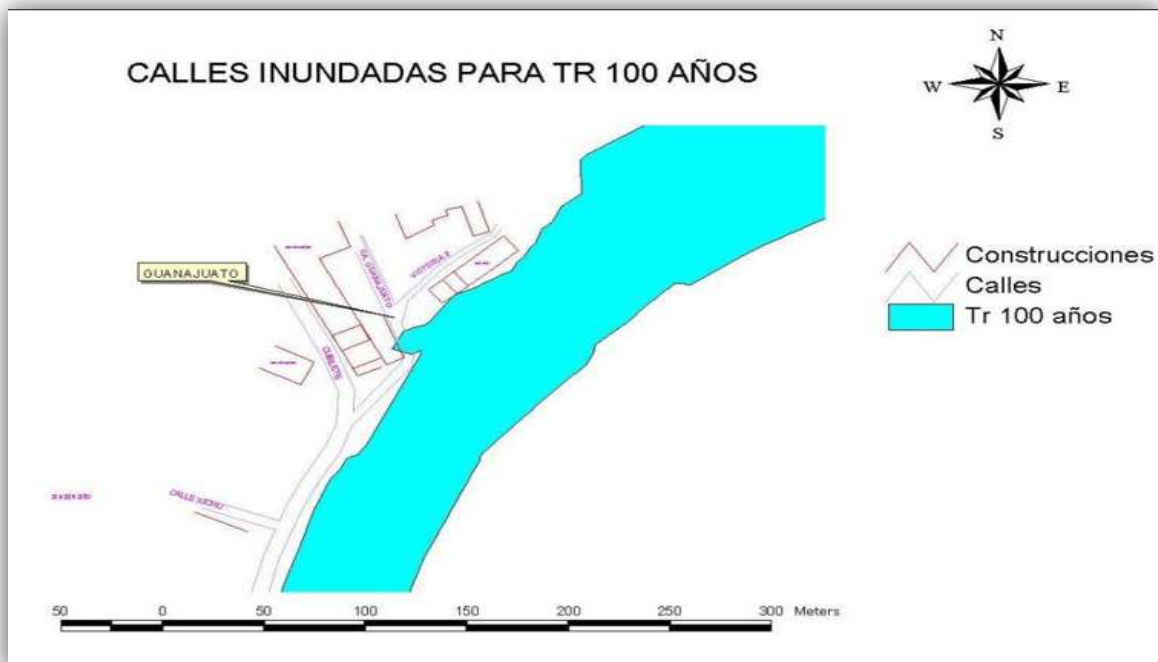


Figura 9-7 Mapa Calles Inundadas Para Tr 100 Años

En la imagen se puede observar con exactitud las calles inundadas mapa 9-7.



Figura 9-8 Imagen satelital Con Google Earth

En el siguiente mapa se muestra otro tramo del rio donde se presentan inundación en las calles (Irapuato y Dr. Mora).

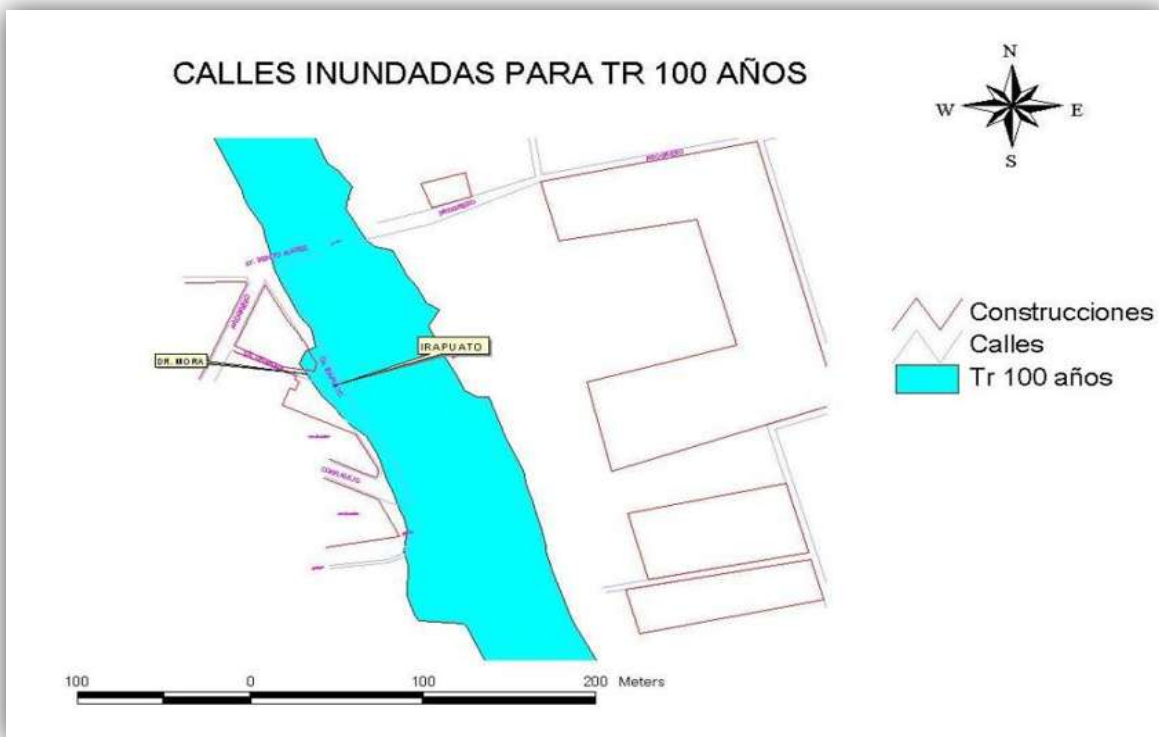


Figura 9-9 Mapa Calles Inundadas Para Tr 100 Años

Imagen en Google Earth, para mejor apreciación del mapa 9-9.



Figura 9-10 Imagen satelital Con Google Earth de Calles Inundables

Mapa donde se presenta inundación en las calles (playa azul y Vicente López).



Figura 9-11 Mapa Calles Inundadas Para Tr 100 Años

Imagen de mejor apreciación de las calles inundadas del mapa 9-11.



Figura 9-12 Imagen satelital Con Google Earth de Calles Inundables

Mapa de inundación en las calles (Adolfo López Mateos, Río Lerma, Río Bravo, Río Consular y Bordo del Río Lerma), prácticamente toda la colonia se inunda.

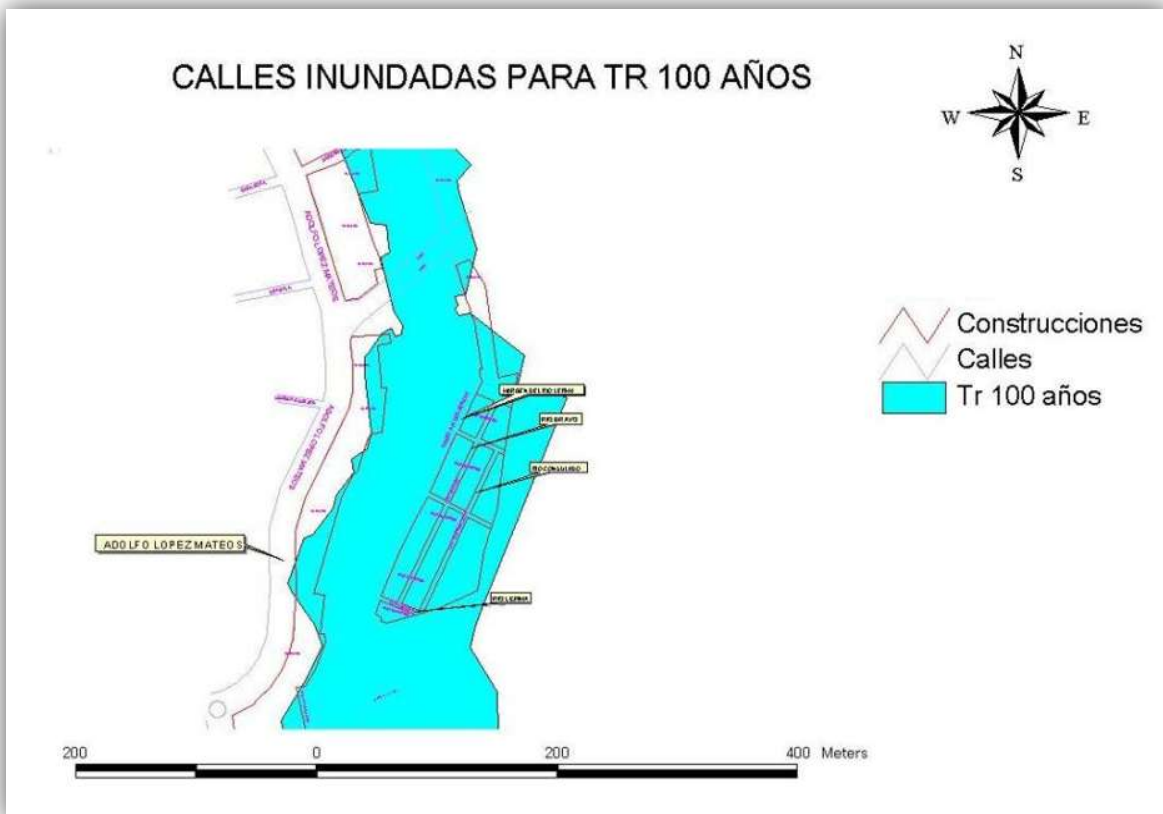


Figura 9-13 Mapa Calles Inundadas Para Tr 100 Años

Localización de colonia inundada en Google Earth del mapa 9-13.



Figura 9-14 Imagen satelital Con Google Earth de Calles Inundables

Mapa de ilustración de otro tramo inundable para el periodo de retorno de 100 años, las calles inundadas (Yuridía, Silao, Querétaro y Villagrán del lado de Guanajuato, y por el lado de Michoacán tenemos Pedro Chavolla, Morelos, Lázaro Cárdenas y 25 de Julio).



Figura 9-15 Mapa Calles Inundadas Para Tr 100 Años

Detalle de calles inundadas del mapa 9-15.



Figura 9-16 Imagen satelital Con Google Earth de Calles Inundables

Por último tenemos las dos calles (Sonora y Michoacán) del último tramo inundable para el periodo de retorno de 100 años



Figura 9-17 Mapa Calles Inundadas Para Tr 100 Años

En la siguiente imagen satelital se presentan las calles afectadas del mapa 9-21.



Figura 9-22 Imagen satelital Con Google Earth de Calles Inundables

Aguas abajo se presentan más inundaciones en calles como (Playa azul, Vicente López y Yucatán) se muestran en el siguiente mapa, Las dos últimas calles son del lado de Michoacán.



Figura 9-23 Mapa Calles Inundadas Para Tr 500 Años

Imagen satelital de las calles inundadas del mapa 9-23.



Figura 9-24 Imagen satelital Con Google Earth de Calles Inundables

En este mapa se puede observar que se tiene una inundación verdaderamente de consideración ya que se inunda toda una colonia que esta al bordo del meandro esto del lado de Guanajuato, como son las calles (Río Bravo, Rio Consulado, Bordo del Rio Lerma, Rio Lerma) y del lado de Michoacán tenemos en las calles (Adolfo López Mateos y Zaragoza).



Figura 9-25 Mapa Calles Inundadas Para Tr 500 Años

Localización de las calles inundadas del mapa anterior mediante imagen satelital.



Figura 9-28 Imagen satelital Con Google Earth de Calles Inundables

En este mapa se presenta inundación aguas abajo en las calles (Sonora, Emiliano Zapata y Av. Michoacán).



Figura 9-29 Mapa Calles Inundadas Para Tr 500 Años

Imagen satelital que muestran las calles inundadas.



Figura 9-30 Imagen satelital Con Google Earth de Calles Inundables

En este mapa se muestra otro tramo aguas abajo que se inundan un par de calles solamente, las cuales son (Los Cabos y el Malecón).



Figura 9-31 Mapa Calles Inundadas Para Tr 500 Años

Imagen satelital de las calles donde se presenta la inundación.



Figura 9-32 Imagen satelital Con Google Earth de Calles Inundables

10.- CONCLUSIONES

La integración de la información existente, el análisis del modelo digital del terreno y el estudio Hidrológico - Hidráulico ha permitido confeccionar los primeros mapas de amenazas por inundaciones, para la ciudad de la Piedad Michoacán, con ayuda de herramientas de sistemas de información geográfica.

Los mapas incluye un estudio hidrológico para todas las áreas incluidas, esta proporciona unas poderosas herramientas que pueden contribuir a la mitigación, prevención y atención a los desastres naturales.

Estos mapas no debe ser tomado como estático pues esta sujeto a cambios o adaptaciones que pueden irse haciendo en dependencia de la presencia de estudios con mayor detalle y precisión

Con la metodología mostrada y se pueden desarrollar mapas a detalle, con laminas de agua exactas.

Hasta ahora, de acuerdo con el análisis mostrado en los capítulos anteriores, se ha planteado la metodología para elaborar funciones de vulnerabilidad tomando en cuenta los sistemas de información geográficos. En el futuro se podrá incorporará el análisis de la vivienda misma, donde el objetivo es tratar de identificar el grado de resistencia, su comportamiento, ante diferentes inundaciones, para estar en posibilidad de identificar cuáles viviendas pueden sufrir daños, en qué grado y cuáles no.

Un análisis más completo de riesgo debería tomar en cuenta a los servicios, es decir también incorporan las descargas que realiza la población al meandro.