



U.M.S.N.H

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL
SISTEMA FLUVIAL DEL MUNICIPIO
DE COALCOMÁN MICHOACÁN

"Tesis"
que para obtener el título de:
Ingeniero Civil

Presenta:

Marcelino Díaz Cárdenas

Asesor de Tesis:

Dr. Constantino Domínguez Sánchez

MORELIA MICHOACÁN, OCTUBRE 2008



Agradecimientos

Primeramente quiero agradecer a **Dios**, por permitirme la salud y por no dejarme flaquear en los momentos mas difíciles de mi vida, estando siempre a mi lado en las buenas y en las malas.

A mi Madre, **Hermelinda Cárdenas Santana**, por ser una buena madre que se preocupa y que siempre esta al pendiente de mi. Por inculcar en mi los valores que harán de mi una persona de éxito. Gracias mamá por quererme mucho, y ser el motor de mi vida.

Te quiero mucho Mamá.

A mi Padre, **Rafael Díaz Almazán**, por todos los consejos y experiencias que me has dado y que me ayudaron a ser lo que soy, gracias papá por apoyarme en todas las dediciones que he tomado a lo largo de mis estudios.

Te quiere mucho Papá

A mis Hermanos, que siempre me motivaron a seguir adelante, gracias por estar siempre en mi mente.

Los quiero Mucho.

A mis Abuelos, **Paula Almazán, Ana Maria Santana** y **Martín Cárdenas** que están siempre al pendiente de mi.

A todos mis Tíos, por sus consejos en especial a mi tío, **Pedro Díaz** y mi tía **Rosa Barragán**, gracias por todo su apoyo.

Gracias Doctora Sonia, por permitirme trabajar junto a usted y darme la confianza de trabajar en este proyecto.

A mi Asesor, el **Dr. Constantino Domínguez**, por su gran apoyo al realizar este trabajo y por su paciencia.

Igualmente quiero expresar un enorme agradecimiento a la **U.M.S.N.H** y en especial a la **Facultad de Ingeniería Civil**, por haber inculcado en Mí de parte de todo su personal docente el conocimiento y experiencia.

CONTENIDO

I. INTRODUCCION.....	- 1 -
.....	- 1 -
II. ANTECEDENTES.....	- 3 -
.....	- 3 -
II.1. LOCALIZACION.....	- 3 -
II.1.1. CLIMA.....	- 4 -
II.1.2. FISIOGRAFIA.....	- 4 -
II.1.3. HIDROGRAFIA.....	- 5 -
II.1.4. POBLACIÓN.....	- 6 -
II.1.5. RECURSOS NATURALES.....	- 6 -
II.1.6. ACTIVIDAD ECONOMICA.....	- 6 -
II.2. PROBLEMÁTICA.....	- 7 -
II.2.1. RIO GRANDE.....	- 9 -
II.2.2. RIO CHIQUITO.....	- 10 -
II.2.3. RIO APAMILA.....	- 10 -
II.2.4. ARROYO LAS ÁNIMAS.....	- 11 -
II.3. MODELOS PREVIOS.....	- 11 -
II.3.1. DESCRIPCION DEL MODELO.....	- 11 -
II.4. QUE SE HA HECHO.....	- 11 -
II.4.1. RIO GRANDE.....	- 11 -
II.4.2. RIO CHIQUITO.....	- 12 -
II.4.3. RIO APAMILA.....	- 13 -
II.4.4. ALTERNATIVA DE DESVIO.....	- 13 -
II.5. QUE SE PLANTEA HACER.....	- 14 -
III. DESCRIPCION DEL SISTEMA FLUVIAL.....	- 15 -
.....	- 15 -
III.1. CARACTERISTICAS DE LA CUENCA.....	- 16 -
III.1.1. CUENCAS DE APORTACION.....	- 16 -
III.2. CARACTERISTICAS DE LOS RIOS.....	- 24 -
III.2.1. RIO CHIQUITO.....	- 24 -
III.2.2. RIO GRANDE.....	- 26 -
III.2.3. RIO APAMILA.....	- 27 -
III.2.4. ARROYO LAS ANIMAS.....	- 28 -
III.3. COMPORTAMIENTO.....	- 29 -
IV. SOFTWARE EXISTENTE PARA LA MODELACION HIDRÁULICA.....	- 34 -
.....	- 34 -
IV.1. MODELOS UNIDIMENSIONALES.....	- 34 -
IV.1.1. MODELOS 1D EN REGIMEN PERMANENTE.....	- 34 -
IV.1.2. MODELOS 1D EN REGIMEN VARIABLE.....	- 35 -
IV.2. MODELOS CUASI-BIDIMENSIONALES.....	- 35 -
IV.3. MODELOS BIDIMENSIONALES.....	- 35 -
IV.4. SOFTWARE COMERCIAL Y LIBRE.....	- 36 -
IV.5. DESCRIPCION.....	- 36 -
IV.5.1. MIKE-11.....	- 36 -
IV.5.2. SOBEK.....	- 37 -
IV.5.3. ISIS.....	- 40 -
IV.5.4. WSPRO.....	- 41 -

IV.5.5.	HEC-RAS.....	- 42 -
IV.6.	VENTAJAS Y LIMITACIONES.....	- 45 -
IV.6.1.	MIKE 11.....	- 45 -
IV.6.2.	SOBEK.....	- 45 -
IV.6.3.	ISIS.....	- 45 -
IV.6.4.	WSPRO.....	- 46 -
IV.6.5.	HEC-RAS.....	- 46 -
IV.7.	SELECCIÓN DEL SOFTWARE.....	- 46 -
IV.7.1.	Elección del modelo a utilizar.....	- 47 -
V.	MODELACION HIDRÁULICA DEL SISTEMA FLUVIAL.....	- 48 -
	- 48 -
V.1.	CONSIDERACIONES.....	- 48 -
V.2.	INFORMACION REQUERIDA.....	- 48 -
V.3.	CALCULOS.....	- 51 -
V.3.1.	MODELACION DEL SISTEMA FLUVIAL DE COALCOMAN.....	- 51 -
V.4.	RESULTADOS.....	- 60 -
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	- 66 -
VII.	BIBLIOGRAFIA.....	- 71 -



I. INTRODUCCION

Los ríos han sido siempre utilizados de manera intensa por el hombre para diferentes fines, tales como, captación de agua (para consumo humano, agrícola e industrial), generación de energía, pesca, recreación, etc. Este aprovechamiento puede generar conflictos con las funciones naturales de los ríos, como son la conducción de agua (componente de agua superficial del ciclo hidrológico), transporte de sedimentos del cauce y materiales de erosión de la cuenca y las orillas, transporte de sustancias y desechos naturales, soporte del ecosistema acuático y terrestre, etc. A su vez, los ríos también han originado grandes desastres, tales como, inundaciones, avalanchas y colapso de estructuras (presas, diques, puentes, bocatomas). Un ejemplo de daños por inundaciones es el poblado de Coalcomán, en donde las actividades antropogénicas han incrementado, aún más, la problemática de los asentamientos humanos, en zonas en las cuales el río se desborda y causa inundaciones, sobre todo en los sitios en los que las personas han construido sus casas encima y en las márgenes del cauce del río lo cual ha provocado que se reduzca la sección del mismo haciendo que existan desbordamientos del río, sumándose la traza en planta del sistema fluvial en la zona la cual retrasa el desalojo de los escurrimientos del sistema fluvial.

Cuando se efectúa una intervención (natural o artificial) en un río se originan variaciones en las características del cauce, no solo localmente sino también aguas abajo y aguas arriba del sitio intervenido. Por esto es necesario estimar la respuesta o reacción de un río a una posible intervención, procurando determinar y evaluar los posibles efectos hidráulicos, morfológicos y ambientales. Esto permitirá seleccionar la alternativa que genere los mayores beneficios y los menores daños o efectos negativos al sistema fluvial y su entorno.

Predecir la respuesta de un río a una intervención es una tarea altamente compleja, ya que los parámetros y variables que afectan y determinan los procesos fluviales son numerosos y además muchos de ellos se hallan interrelacionados, muchas veces a través de relaciones empíricas. Entre estos parámetros se tienen las descargas líquidas, las cargas de sedimentos, la pendiente del cauce, la resistencia al flujo (rugosidad), la geomorfología, etc. Esta predicción es factible en muchos casos sólo por medio de modelos matemáticos o modelos físicos a escala. Los modelos matemáticos son cada vez más usados debido a su gran flexibilidad y a que son generalmente más económicos que los modelos físicos.

Es muy conocido el interés actual de la Hidráulica en los modelos matemáticos y el notable incremento que está experimentando su uso en el campo de la Ingeniería Civil. La demanda de modelos de predicción más rápidos, más precisos, más operativos y elaborados es creciente. La posibilidad de disponer de ordenadores personales de considerable capacidad de cálculo y de alta velocidad ha llevado, paralelamente, a popularizar y hacer accesibles

MARCELINO DÍAZ CÁRDENAS





programas de tipo hidrológico que hace bien poco estaban reservados a unos pocos grandes grupos de trabajo, generalmente asociados a universidades o a importantes empresas de ingeniería.

Debido a las constantes inundaciones que se han presentado históricamente en la localidad de Coalcomán, y las consecuencias de éstas hacia los habitantes de la zona, se realizó el estudio y proyecto que aquí se trata. Como resultado de los estudios previos se determinó la necesidad de proyectar y construir obras hidráulicas sobre los ríos en estudio. Estas obras hidráulicas consisten en la construcción de represas sobre el río Chiquito aguas arriba de la localidad de Coalcomán; una laguna de inundación sobre el río Grande y la rectificación de un tramo del cauce del río Apamila con su confluencia en el río Grande.

Para el diseño de las obras, se requiere de la realización de estudios previos tales como la geotecnia de los ríos, la topografía, la hidrología de la cuenca, un estudio fluvial de los cauces así como el estudio de su comportamiento hidráulico. Para el estudio hidráulico de los ríos se requiere hacer una modelación hidráulica, la cual tiene por objeto determinar los niveles de la superficie del agua, en diferentes escenarios y poder ver el comportamiento de cada uno de los ríos del sistema fluvial, lo cual es prioridad de esta obra.

En el capítulo 2 se dará una descripción de la zona en estudio, la problemática a la que se enfrenta la población, así como las soluciones existentes propuestas para mitigar el problema. En el capítulo 3 se describe el sistema fluvial de Coalcomán, los ríos que lo conforman y sus características así como las características de la cuenca.

En el capítulo 4 se presentan los diferentes modelos matemáticos que hay en la actualidad para la simulación hidráulica, dando una descripción breve de estos. También se describen diferentes software para ordenador y las ventajas que presentan cada uno, y la selección del software para la modelación de nuestro sistema fluvial.

La simulación hidráulica se llevo acabo con el software Hec-Ras, para los diferentes escenarios. Para el uso del programa Hec-Ras, se requiere de información topográfica, como son las secciones transversales de los ríos así como el perfil de estos, también se requiere conocer datos hidráulicos como son gastos y condiciones de frontera, como se explicara en el capítulo 5 de esta tesis, así como el análisis de resultados.





II. ANTECEDENTES

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

El desarrollo económico del poblado estuvo conducido durante mucho tiempo, por la producción maderera; por lo que se fueron modificando las condiciones iniciales de usos de la cuenca, explotando de forma importante la flora existente. Situación que ha ocasionado un peligro para la integridad de las personas y para la infraestructura existente.

II.1. LOCALIZACION

El municipio de Coalcomán se localiza al suroeste del Estado de Michoacán (Figura 1), en las coordenadas $18^{\circ}47'$ de latitud Norte y a los $103^{\circ}10'$ de longitud Oeste, a una altura de 1,000 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con el Estado de Jalisco y el municipio de Tepalcatepec, al Este con Aguililla y Arteaga, al Sur con Aquila y al oeste con Chinicuila. Su distancia a la Capital del Estado es de 352 km. Su superficie es de $2,881.57 \text{ km}^2$ y representa el 4.89 por ciento de la superficie del Estado. Su relieve lo constituye la sierra Madre del Sur; cerros del Tejocote, Cabeza de Vaca, Guzmán y Laurel.



Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Coalcomán en el Estado de Michoacán.

MARCELINO DÍAZ CÁRDENAS





II.1.1. CLIMA

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

En la figura 2, se presenta la ubicación de la localidad de Coalcomán con sus coordenadas geográficas.

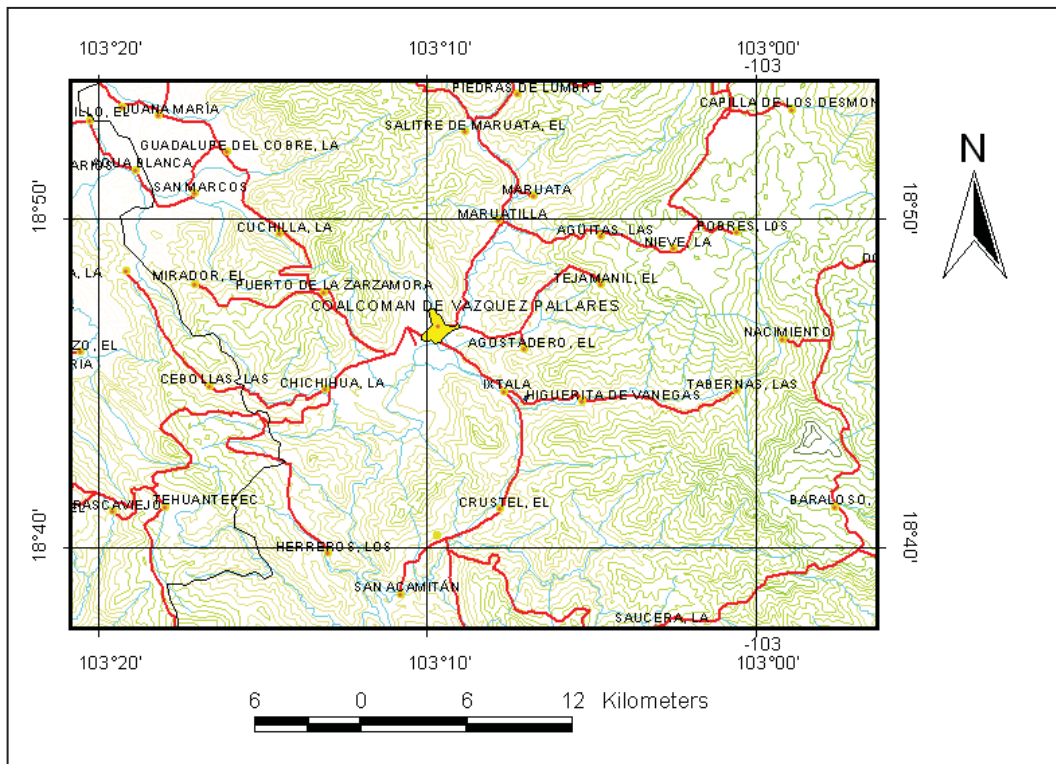


Figura 2. Localización de la localidad de Coalcomán en el Estado de Michoacán.

II.1.2. FISIOGRAFIA

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

La mayor parte del municipio se encuentra en la sub-provincia de la Cordillera Costera del Sur, se compone por una sierra que se extiende a lo largo de la costa michoacana; la complejidad de estas sierras escarpadas, próximas al litoral, se refleja en una variada litología que va desde las rocas

MARCELINO DÍAZ CÁRDENAS





calizas del Cretácico, rocas ígneas intrusivas y extrusivas en el oeste, a las rocas metamórficas en el este, la cordillera se localiza en la Placa de Cocos, cuyos desplazamientos a través del tiempo son atribuibles al origen y evolución de esta región que presenta formaciones que exceden los 2,000 m. de altitud.

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

II.1.3. HIDROGRAFIA

El municipio de Coalcomán se ubica en la Región Hidrológica Costa de Michoacán (RH-17), de acuerdo a la clasificación Hidrológica Nacional. Esta región Hidrológica la conforman dos cuencas hidrológicas: La cuenca del Neixpa y la cuenca de Coalcomán, cuya extensión de esta última es de 2,306.5 Km². Esta cuenca se inicia hacia el Noreste en el puerto de las Cruces (nacimiento río Coalcomán), al norte con el cerro de la Tablas, que se encuentran a 1500 msnm, al noreste llega al puerto de la Zarzamora, al Suroeste con la mesa de los Telares y el cerro de las Vacas, esta gran cuenca termina en el Sudoeste del municipio de Coalcomán.

El río Coalcomán incorpora varios arroyos como son las Tinajas, el Chiquito, Los Ocotes u Ocorla, Garibay o Chichiua, Ixtala y San José. En su desembocadura toma el nombre de Cachan.



Figura 3. Cuenca hidrológica Costa de Michoacán, en el que se ubica Coalcomán.





II.1.4. POBLACIÓN

La población total del poblado de Coacomán de acuerdo al Censo General de Población y Vivienda 2000 del Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática es de 10,439 habitantes, de los cuales 5,041 son hombres y 5,398 son mujeres.

Los asentamientos humanos, en la Cabecera Municipal, que es el Poblado de Coacomán, se ha desarrollado en la Vega de los ríos Chiquito y río Grande, los cuales representan un peligro potencial para los habitantes por las avenidas que ocurren ocasionalmente. Así mismo la colonia Tinoco Rubí está asentada a un lado del río Apamila en una zona de alto riesgo.

El municipio de Coacomán, se encuentra conformado por 498 localidades, siendo el más importante Coacomán (cabecera municipal), Trojes (tenencia), Pantla (ejido), el Varaloso (ejido), Barranca Seca (ejido), San José de la Montaña (tenencia) y la Chichiua (rancho).

II.1.5. RECURSOS NATURALES

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

La capa de suelo de las regiones boscosas del municipio de Coacomán es por lo general poco profunda, cuando se pierde la cobertura vegetal, por uso inmoderado (tala de árboles) o quemas, el suelo es mas propenso a sufrir erosión y deja de ser fértil en poco tiempo con un abatimiento del manto freático o acuíferos, porque la vegetación introducida en la zona no retiene el agua de lluvia y esta por tanto no se filtra en el subsuelo.

En el poblado de Coacomán se generan diariamente alrededor de 20 toneladas de basura domestica diariamente, que son transportadas a un tiradero a cielo abierto que es una fuente constante de contaminación. Así mismo las aguas negras constituyen otro rubro importante de contaminación. El aserrín constituye otra fuente de contaminación para el medio ambiente ya que se tira a las barranquillas en el periodo de aserrio, cuando se inicia el periodo de lluvias es llevado por las corrientes de agua y este a su vez contamina los cauces de las cuencas.

II.1.6. ACTIVIDAD ECONOMICA

En el municipio la actividad agrícola requiere un altísimo grado de uso de mano de obra. Se tienen 1,280 hectáreas de riego y 9,210 hectáreas de temporal, en las cuales se siembra primordialmente maíz. Haciendo un total de

MARCELINO DÍAZ CÁRDENAS





10, 490 hectáreas de uso agrícola. De Acuerdo al XII Censo de Población y Vivienda del 2000, se produce alrededor de 1,500 toneladas de maíz pozolero, y mil toneladas de maíz nixtamalero.

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

II.2. PROBLEMÁTICA

El estado de Michoacán es afectado por ciclones tropicales de tal forma que al menos, casi uno de estos fenómenos toca o pasa cerca de sus costas o límites al año (figura 4).

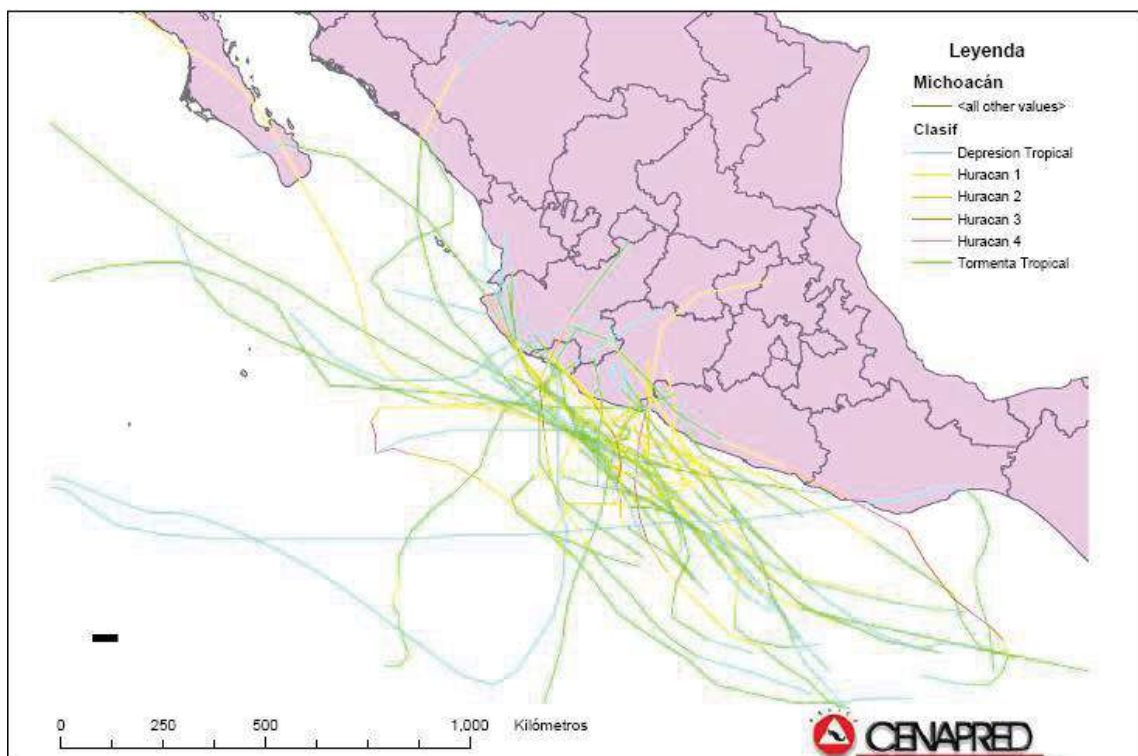


Figura 4. Trayectoria histórica que han entrado a tierra o pasado cerca de los límites de Michoacán, de 1949 al 2000 (Buscador de ciclones, CENAPRED)

Los ciclones tropicales llegan a producir viento, oleaje y marea de tormenta en las costas, pero principalmente lluvias intensas en las partes altas como sierras o montañas, que a su vez, generan avenidas en los ríos que llegan a superar su capacidad y producir inundaciones.





La ubicación del municipio de Coalcomán de Vázquez Pallares, al estar directamente expuesto a los efectos generados por el paso de algunos ciclones tropicales que se forman en el océano Pacífico, en las cercanías de las costas de Michoacán, es de esperar que los escurrimientos que se generen sean de consideración.

Prueba de ello son: el ancho de cauce del río Grande, del orden de 44 m frente a la desembocadura del río Chiquito (figura 5); las estructuras de cruce, tanto el puente vehicular (figura 6) como el puente peatonal.



Figura 5. Vista del puente peatonal que cruza el río Grande a su paso por Coalcomán.

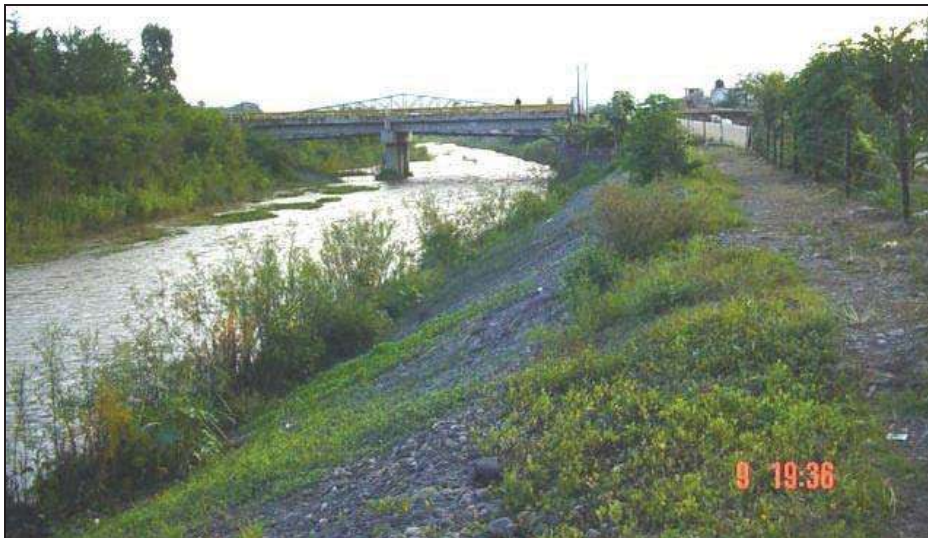


Figura 6. Vista del puente vehicular que cruza el río Grande a su paso por Coalcomán

Los trabajos de estabilización de las márgenes del río Grande, así como el tamaño (longitud) de los puentes que cruzan dicha corriente son un indicio de que los escurrimientos generados en la parte alta de la cuenca tributaria son importantes.





En especial, el día 5 de septiembre de 1999 se formó la depresión tropical no. 12-E, sobre aguas del océano Pacífico, desarrollándose rápidamente para convertirse, por la tarde de ese mismo día, en la tormenta tropical Greg. Durante el día 6 siguió aumentando su fuerza hasta que, en la tarde de ese mismo día, alcanzó la categoría de huracán.

Durante el día 6 de septiembre de 1999, el huracán Greg afectó con precipitaciones intensas los estados costeros de Colima, Guerrero, Michoacán y Jalisco. La información disponible de lluvias máximas en 24 h reporta 400 mm en la presa derivadora Jala, en Colima; 249 mm en Cihuatlán, Jalisco; 244 mm en La Villita, Michoacán y 200 mm en Coyoquilla, Guerrero (fig. 7).

De acuerdo con la estimación hecha en el CENAPRED, la zona debió alcanzar una precipitación del orden de 300 mm en 24 h, que representa cerca del 24% del total anual y que excede lo esperado para una tormenta con periodo de retorno de 5 años.

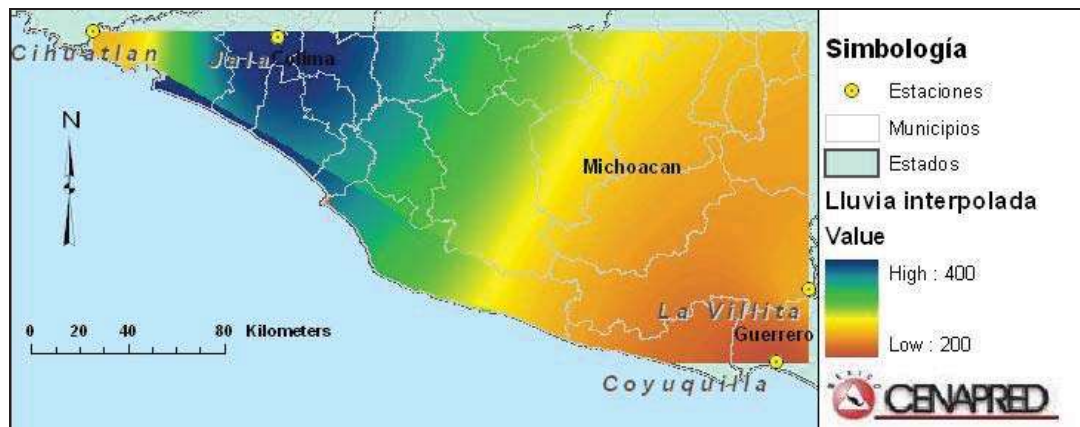


Figura 7. Estimación de la lluvia provocada por el huracán "Greg" en la zona de interés.

Como consecuencia de lo anterior, se presentó una avenida que provocó que el nivel de agua en el río Chiquito se incrementara rápidamente y éste se desbordara. Incluso, las instalaciones de la Presidencia Municipal fueron afectadas.

De lo anterior se presenta la problemática que presenta cada uno de los ríos del sistema fluvial de Coalcomán.

II.2.1. RIO GRANDE

La población de Coalcomán se encuentra ubicada en las confluencias con el río Grande de los ríos Apamila, Chiquito y Animas. La cuenca principal por el volumen de escurrimientos es la cuenca del río Grande, básicamente por la magnitud de su cuenca, esto es de 232 Km². El sentido del escurrimiento es de noreste a suroeste en relación con el poblado. Las zonas afectadas en épocas de verano, se encuentran en la margen derecha, donde se ha desarrollado el





poblado, la mayor afectación se produce a la entrada al poblado y en la confluencia del río Apamila con el río Grande.

En su paso por el poblado la sección del cauce es muy amplia, al disminuir la pendiente longitudinal del río, producto de la acumulación de sedimento transportado de la montaña a la planicie.

Con la tormenta GREG del 5 y 6 de septiembre se presentaron precipitaciones extremas, cuyo periodo de ocurrencia es el correspondiente a 60 años. Esta precipitación ocasiono que el agua inundara el libramiento vial (ubicado en la margen derecha del río) en su paso por el poblado. Cabe indicar que el río presenta bordos en su margen derecha. Esta inundación destruyó totalmente la vialidad, afectando las casas más cercanas al cauce.

II.2.2. RIO CHIQUITO

Este río cuenta con menor superficie en su cuenca, cuyo valor es de 25 km², este río tiene una trayectoria de norte a sur y CRUZA el centro del poblado de Coalcomán, por lo que este escurrimiento ha sido el más importante en periodos de inundaciones, ocasionado serios problemas a la población, que además de ver inundadas sus casas por agua se inundan con sedimento.

Al desarrollarse el poblado, cerraron la sección del río (al construir sobre este), limitando su capacidad, solo para contener las últimas avenidas, pero esta sección hidráulica ha ido reduciéndose ya que el río además de sedimento, acarreo material. Se demostró con la tormenta GREG que se había cometido un gran error al confinar el río. Y que a posteriores años el poblado será amenazado continuamente con las comunes tormentas de verano.

En una de las visitas se nos informo, por parte de los pobladores, que en la tormenta de verano del año anterior, se dio la orden de destruir las casas de una calle completa que se ubicaban precisamente sobre el río Chiquito, así como destruir un puente que no permitía el paso del agua. Pero aun existe un gran tramo del río cubierto.

Además de esta situación extrema de confinamiento del cauce, se ha confinado a cielo abierto el cauce, ya que se han construido casas en la misma margen del río, derecho e izquierdo.

II.2.3. RIO APAMILA

Esta río se ubica en una cuenca de 44.7 km², es la segunda en magnitud después del río Grande, confluye con la margen izquierda del río Grande. El sentido del flujo del río Apamila se contrapone con el sentido del flujo del río Grande, situación que ocasiona remansos en la confluencia, el cual eleva el nivel del agua y produce inundaciones en las casas cercanas a la confluencia.





II.2.4. ARROYO LAS ÁNIMAS

De la visita a lo largo del arroyo se observa que este, está sufriendo el mismo proceso de confinamiento que el río Chiquito. Además se observa, que la capacidad hidráulica es mucho menor, esto lo confirma el área de la cuenca que es de 6.9 Km², aproximadamente la tercera parte del río Chiquito.

II.3. MODELOS PREVIOS

Si bien en el sistema fluvial del municipio de Coalcomán se han hecho estudios para resolver la problemática de inundaciones por desbordamiento de los ríos. El modelo planteado no ha representado otras alternativas de análisis como son las represas y las lagunas de inundación.

II.3.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo que se realizó, considera el río Grande y sus afluentes el río Chiquito y Apamila, dicho modelo tenía por objeto la determinación de las secciones hidráulicas que presentan desbordamiento, obteniendo las elevaciones de la superficie del agua (perfil longitudinal del espejo de agua).

Para estimar el caudal dominante u ordinario o bien, aquel que el cauce del río puede conducir sin desbordar hacia sus márgenes y conocer la variación de los niveles del agua a lo largo del cauce, se establecieron los gastos de 100, 150, 200, y 300 m³/s.

La longitud de los tramos analizados para el río grande fue de 3km, 2.52 km para el río Chiquito y 1.68 km para el río Apamila.

Se hizo el análisis hidráulico del río en condiciones naturales, para gastos asociados para periodos de retorno de 50, 100, 500, y 1000 años, considerando diferentes opciones de solución.

II.4. QUE SE HA HECHO

De la modelación realizada mediante el HEC-2 se determinó la realización de obras tales como:

II.4.1. RÍO GRANDE

Para el río Grande se propuso la rectificación del cauce considerando lo siguiente:

En virtud de la presencia del puente Coalcomán, se ajustó la rasante de proyecto considerando la existente en dicho puente.

MARCELINO DÍAZ CÁRDENAS





El mejoramiento de la capacidad hidráulica mediante el desazolve o excavación del cauce para la rasante propuesta y la formación de bordos, aprovechando el producto de excavación. La rasante de bordos se adopto de tal manera que con el bordo libre seleccionado, se absorbieran los gastos correspondientes a un $Tr = 500$ años; así mismo se cuidó que dicha rasante evitara en lo posible afectaciones en las construcciones aledañas al bordo en su margen derecha.

Debido a las velocidades que se presentan con el gasto de diseño, se tendrá que proteger en toda la longitud del tramo en estudio, mediante la colocación de gaviones, tal como se muestra en la sección típica de proyecto.

El eje del encauzamiento se ubico de tal manera de que siguiese el fondo del cauce, evitando con esto que hubiese mayor corte; las curvas proyectadas se trazaron con grados de curvatura adoptados a las condiciones del cauce y evitando hasta donde fue posible, las afectaciones a las construcciones ubicadas en la margen derecha, tomando como pivote el centro del puente recientemente construido.

II.4.2. RIO CHIQUITO

En este caso se elaboraron dos proyectos, uno considerando la rectificación del cauce actual y otro respetando el trazo del cauce actual encauzado solamente un tramo en la entrada y otros en las proximidades con sus descargas en el río Grande.

La rasante del proyecto se ajustó para cada puente construido constituyera una central de control y de esta manera salvar la demolición de alguna de las ocho estructuras de cruce.

El encauzamiento consiste en el desazolve o excavación del cauce para la rasante propuesta y la formación de bordos, aprovechando el producto de excavación.

La rasante de bordos se adopto de tal manera que con el bordo libre seleccionado, se absorbieran los gastos correspondiente a un periodo de retorno de 500 años.

Debido a las velocidades que se presentan con el gasto de diseño, se tendrá que proteger en toda la longitud del tramo en estudio, mediante revestimiento con concreto armado, tal como se muestra en las secciones típicas de proyecto, lo anterior por los requerimientos mencionados.

El eje del encauzamiento se ubico de tal manera que siguiese el fondo del cauce, evitando con esto que hubiese mayor corte. Las curvas proyectadas se trazaron con grados de curvatura adoptados a las condiciones del cauce y evitando hasta donde fue posible, las afectaciones a las construcciones ubicadas en ambas márgenes, esto para la alternativa sin rectificación, para el caso de la alternativa que considera una rectificación en el trazo, las curvas se





proyectaron con un grado de curvatura tal que estas resultaran suaves hasta donde fue posible.

II.4.3. RIO APAMILA

El proyecto del encauzamiento del río Apamila asociados a periodos de retorno de 100 y 500 años, consiste en el desazolve o excavación del cauce para la rasante propuesta y la formación de bordos, aprovechando el producto de excavación.

La rasante de bordos se adopto de tal manera que con el bordo libre seleccionado, se absorbieran los gastos correspondiente a un periodo de retorno de 500 años; asimismo se cuidó que dicha rasante evitara en lo posible afectaciones en la construcciones aledañas al bordo en su margen derecha.

Debido a las velocidades que se presentan con el gasto de diseño, se tendrá que proteger en toda la longitud del tramo en estudio, mediante la colocación de gaviones, tal como se muestra en las secciones típicas del proyecto.

El eje del encauzamiento se ubico de tal manera que siguiese el fondo del cauce, evitando con esto que hubiese mayor corte las curvas proyectadas se trazaron con grados de curvatura adoptados a las condiciones del cauce y evitando hasta donde fue posible, las afectaciones a las construcciones ubicadas en la margen derecha.

II.4.4. ALTERNATIVA DE DESVIO

En este caso el estudio se limito a dos alternativas una de las cuales se desecho desde el estudio topográfico por arrojar mayores volúmenes de corte; por lo cual se procedió a realizar el proyecto del desvío del río Chiquito con un gasto inicial de $83 \text{ m}^3/\text{s}$ aumentando a $136 \text{ m}^3/\text{s}$ en el sitio donde se incorpora el caudal proveniente del Arroyo Las Animas.

El encauzamiento consiste en el desazolve o excavación del cauce para la rasante propuesta y la formación de bordos en el tramo comprendido entre el cruce de la carretera Aquila-Coalcomán hasta su descarga en el río Grande, y excavación y formación de bordos desde la estructura de desvío hasta el cruce con la carretera referida.

Las rasantes de bordos se adopto de tal manera que con el bordo libre seleccionado, se absorbieran los gastos correspondiente a un periodo de retorno de 500 años; sin embargo, con el trazo de proyecto no pudo evitarse el afectar el puente-alcantarilla construido en el cruce de la carretera Aquila-Coalcomán, así como las construcciones alojadas en las proximidades a los márgenes del arroyo.





En el desarrollo del canal propuesto se presentan altas velocidades por las pendientes pronunciadas, debido al relieve del terreno; sin embargo, por ubicarse en terrenos cerriles donde no se pone en riesgo ningún tipo de infraestructura se optó por dejar el canal sin ningún tipo de revestimiento, sino hasta el cruce con la carretera Aquila-Coalcomán donde se propuso protección por medio de gaviones, esto se muestra en las secciones típicas del proyecto.

Cabe mencionar que estas obras de protección propuestas solo se llevaron a nivel de proyecto. Por otro lado se identificó la construcción de una rectificación del río Grande con Gaviones, al parecer no se trataba de ejecutar la totalidad del proyecto de rectificación en el río Grande, solo se estaba ejecutando un tramo de 600 metros (Figura 8).



Figura 8. Vista del río Grande a su paso por Coalcomán. Nótese el recubrimiento marginal a base de gaviones

II.5. QUE SE PLANTEA HACER

Se plantea hacer un modelo matemático para el sistema fluvial de la localidad de Coalcomán Michoacán, el cual pretende simular los niveles de la superficie del agua, para cada uno de los ríos, así como sus perfiles, entre otras características hidráulicas.

Esto se pretende hacer por medio de programas o software, el cual ejecuta el código de un modelo matemático, para esto se describirán varios programas como se plantea en el capítulo 4 los cuales pueden ser alternativas u opciones para la simulación.

La simulación hidráulica del sistema fluvial de Coalcomán, servirá para presentar el comportamiento del río, tales como las zonas potenciales de inundación, y con esto proponer obras de protección para mitigar las grandes avenidas.

MARCELINO DÍAZ CÁRDENAS





III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FLUVIAL

En este capítulo se presentarán las características que presenta el sistema fluvial de la localidad de Coacomán.

Las subcuencas que interactúan con el municipio de Coacomán se ubican dentro de la cuenca denominada “*Costa de Michoacán*” (Figura 9).

La cabecera municipal de Coacomán es afectada por dos corrientes, los ríos Chiquito y Grande (o Coacomán). Existe una tercera corriente, el río Apamila, cuya confluencia con el río grande se ubica casi enfrente con la propia del río Chiquito, por lo que sus descargas, podrían afectar de manera indirecta al funcionamiento hidráulico del río Chiquito.

En la siguiente figura se ubican los tres ríos de mayor importancia en el sistema fluvial Coacomán, así como la ubicación del poblado.

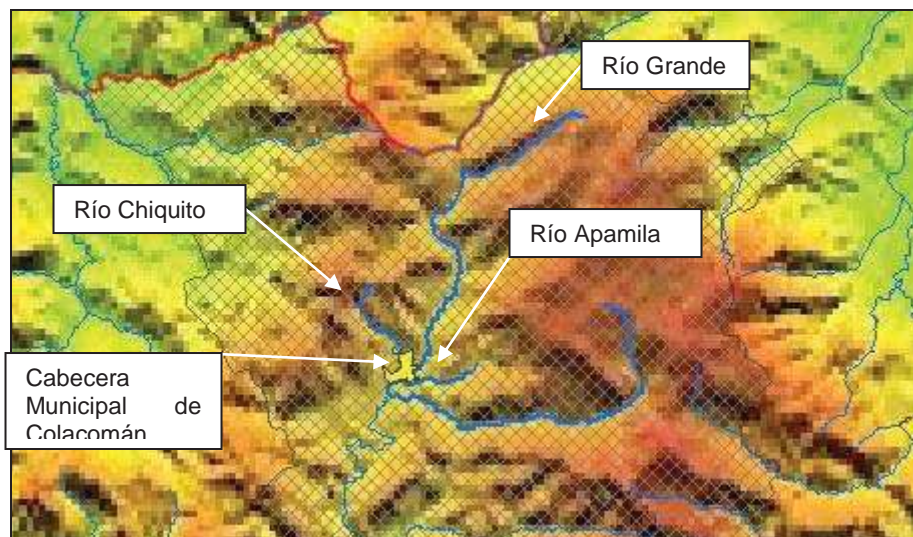


Figura 9. Hidrografía de las cuencas que aportan a la cabecera municipal de Coacomán, (fuente: IRIS Ver 3.0 INEGI).

Como se puede observar en la figura 9, solo se presenta el río grande como la principal corriente en la cuenca, y sus afluentes, el río Chiquito y Apamila. Para la modelación del sistema se está considerando además el arroyo las Animas (ver Capítulo V) como se describe el sistema más adelante.





III.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

III.1.1. CUENCAS DE APORTACION

La cuenca de aportación total identificada hasta la comunidad de Coalcomán, involucra tres corrientes principales, el río Grande (o Coalcomán), Chiquito, y Apamila. La siguiente tabla muestra el área de cada una de las cuencas de aportación así como el área total de la cuenca identificada solo hasta la población por lo que se descarta la cuenca del arroyo las Animas.

Tabla 1. Cuencas que integran el área de aportación hasta la

Nombre de la cuenca	Área (km ²)	Observaciones
río Grande	232.22	Corriente principal de la red de drenaje
río Chiquito	25.18	Afluente derecho, último en integrarse al sistema
río Apamila	44.74	Afluente izquierdo, primero en integrarse al sistema.
Área total de aportación	302.14	

comunidad de Coalcomán

En la siguiente figura se ilustra la cuenca de aportación total hasta la comunidad de Coalcomán.

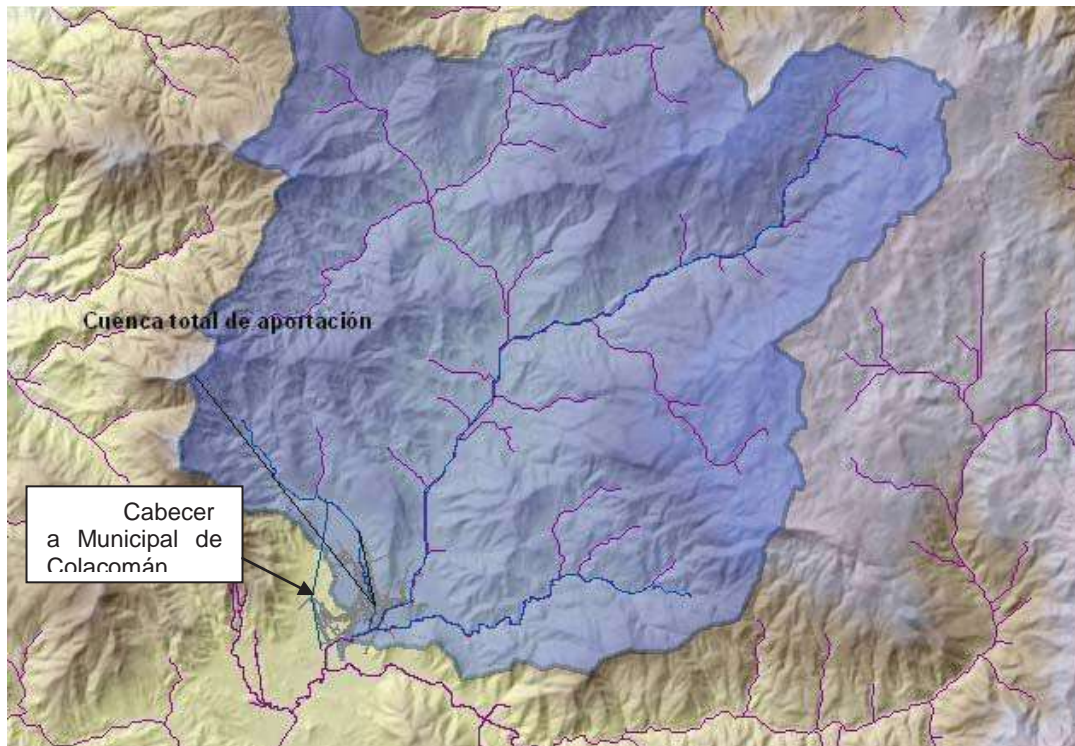


Figura 10. Cuenca de aportación total identificada hasta la comunidad de Coalcomán





III.1.1.1. Cuenca del río Chiquito

Los escurrimientos que se generan en esta cuenca, son los que provocan los problemas de inundación en la zona urbana de *Coalcomán* (figura 11).

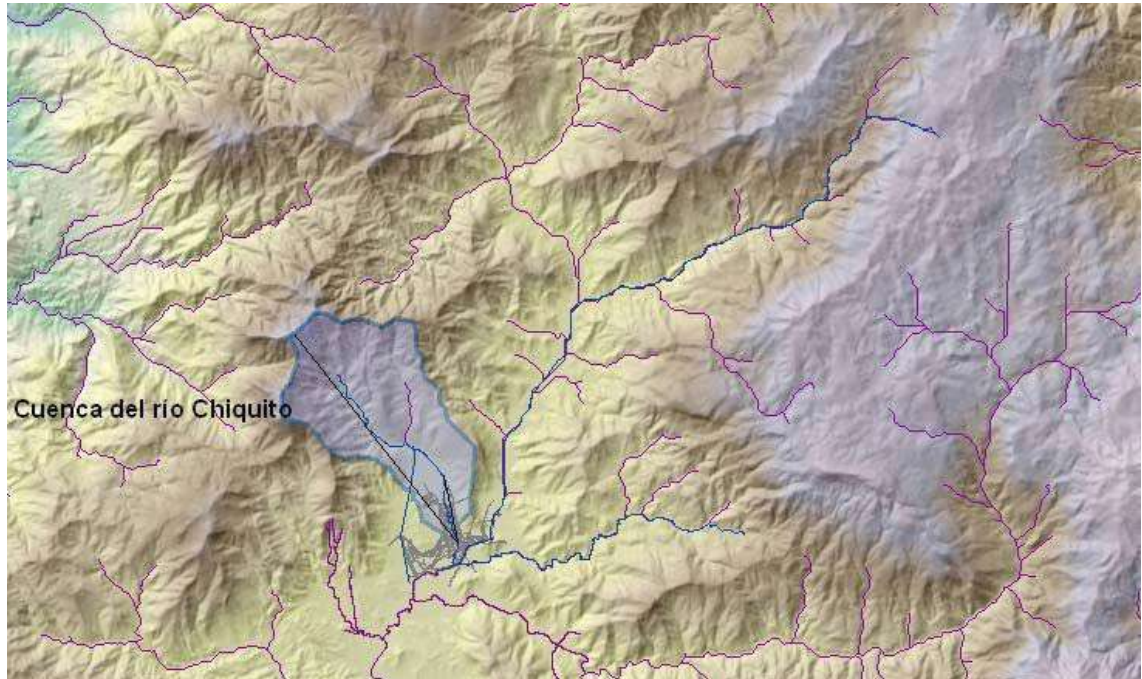


Figura 11. Cuenca de aportación del río Chiquito

Como se observa en la tabla 1, el área de aportación es de 25.18 km². la longitud del río chiquito es igual a 10.69 km y una pendiente de 0.0181.

De acuerdo con los valores mencionados, el tiempo de concentración para la cuenca es de 1.925 horas según el criterio de Kirpich.

En la tabla 2 se presenta el resumen de las características fisiográficas de la cuenca.

Tabla 2. Características de la cuenca del río Chiquito

Cuenca	Área (km ²)	Longitud cauce principal (km)	Pendiente cauce principal	Tiempo de concentración (h)
Río Chiquito	25.181	10.6925	0.018177	1.925

La figura 12 muestra una vista tridimensional de esta cuenca. En ella se pueden apreciar claramente, hacia la parte media de la figura, las dos pequeñas corrientes que la forman y, en la parte de abajo, la cabecera municipal de Coalcomán.



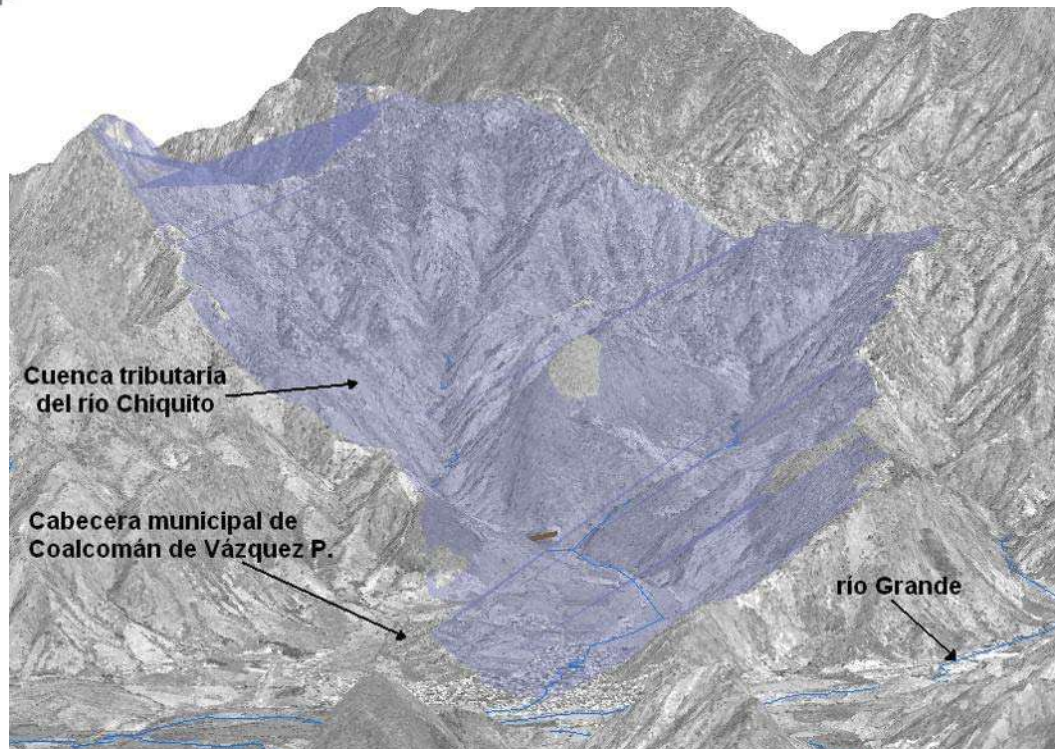


Figura 12. Vista tridimensional de la cuenca de aportación del río Chiquito

III.1.1.2. Cuenca del río Grande (o Coalcomán)

La cuenca del río Coalcomán presenta un área de 232.22 km², como se observa, es la cuenca mas grande de este sistema fluvial, siendo el orden de corriente para este río igual a 5 en la figura 13 se marca el parteaguas así como el área delimitada por esta.

En general el río Grande cuenta con una longitud de 36.32 km, y una pendiente de 0.011.

De acuerdo con los valores mencionados, en esta cuenca el tiempo de concentración resulta de 5.949 horas según el criterio de Kirpich.

El resumen de las características fisiográficas de la cuenca se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Características de la cuenca del río Grande.

Cuenca	Área (km ²)	Longitud cauce principal (km)	Pendiente cauce principal	Tiempo de concentración (h)
Río Grande	232.2243	36.3181	0.011188	5.949





Figura 13. Cuenca de aportación del río Grande (o Coalcomán)

III.1.1.3. Cuenca del río Apamila

Esta cuenca tiene el segundo lugar en su tamaño, el área de esta cuenca es igual a 44.74 km².

Como se puede observar en la figura anterior, su confluencia con el colector general prácticamente tiene lugar frente a la descarga del río Chiquito, por lo que en caso de llevar escurrimientos considerables, puede ocasionar problemas en la descarga del primero.

Para esta cuenca, el tiempo de concentración resulta de 2.612 horas según el criterio de Kirpich.

El resumen de las características fisiográficas de la cuenca se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Características de la cuenca del río Apamila

Cuenca	Área (km ²)	Longitud cauce principal (km)	Pendiente cauce principal	Tiempo de concentración (h)
Río Apamila	44.7431	16.5251	0.019634	2.612



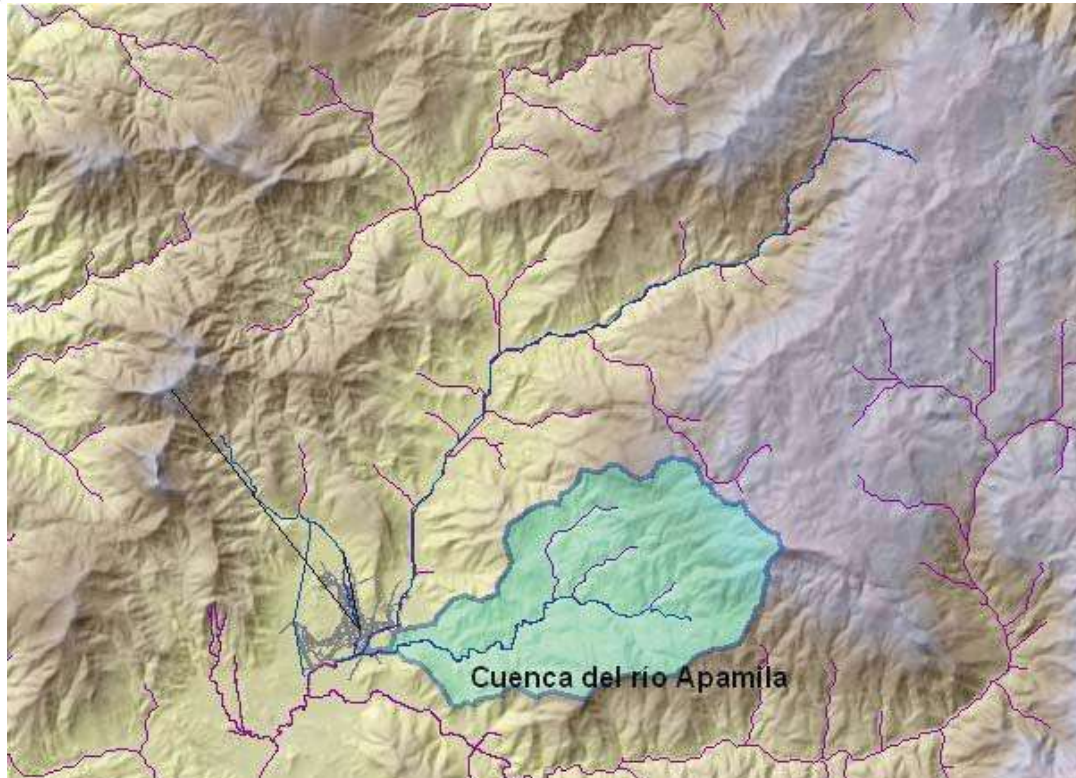


Figura 14. Cuenca de aportación del río Apamila

III.1.1.4. Cuenca del Arroyo Las Animas

El arroyo las Animas, es el afluente que se une con el río Grande después del río Chiquito, es el que aporta un gasto menor, debido a que su cuenca de aportación es la mas pequeña del sistema fluvial, contando un área de 6.021 km², a continuación se muestra la figura del parteaguas de la cuenca.

Para esta cuenca, el tiempo de concentración resulta de 0.885 horas según el criterio de Kirpich.

El tiempo de concentración de esta cuenca es el menor de todos, ya que la longitud del cauce principal es pequeña y una pendiente grande.

El resumen de las características fisiográficas de la cuenca se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Características de la cuenca del Arroyo Las Animas

Cuenca	Área (km ²)	Longitud cauce principal (km)	Pendiente cauce principal	Tiempo de concentración (h)
Las Animas	6.921	5.8076	0.040304	0.885



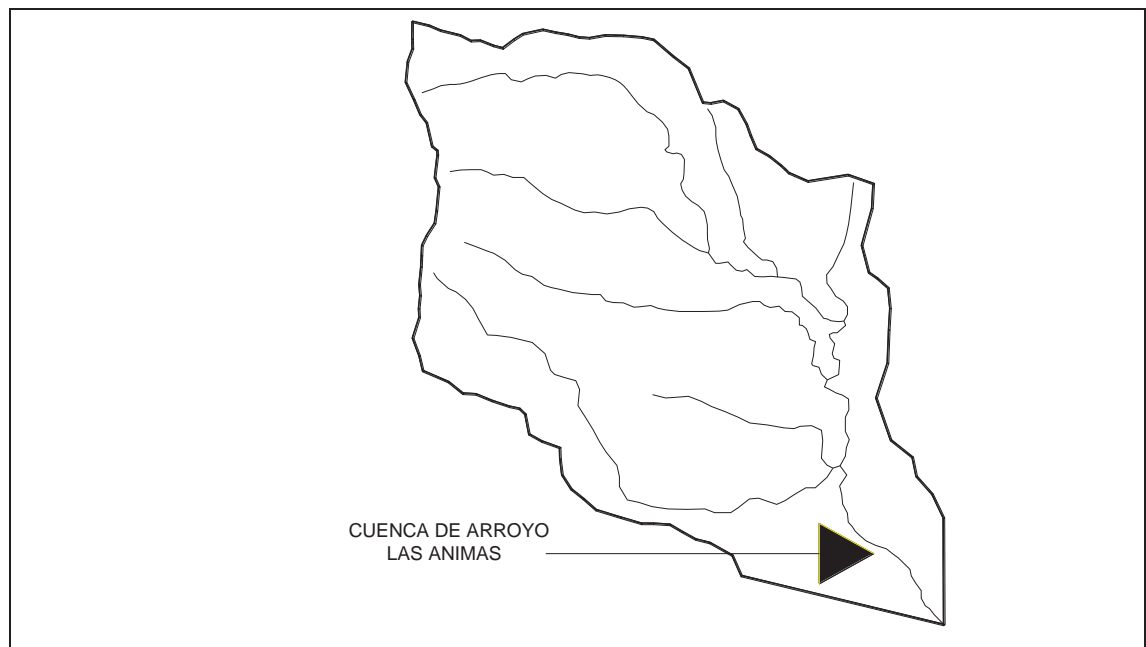


Figura 15. Cuenca de aportación del Arroyo Las Animas

Se hizo un estudio hidrológico en las cuencas de los ríos que conforman el sistema fluvial de Coalcomán (incluyendo el arroyo Las Animas), del cual se obtuvieron las principales características geomorfológicas de las cuencas y características de los cauces que se listan en la Tabla 6.

Los métodos seguidos para obtener las características geomorfológicas de las cuencas son diversas, unas mediante procedimientos y otras mediante ecuaciones.

Entre los procedimientos tenemos: la obtención del Área (A) de las cuencas mediante el software AUTOCAD, se obtuvo definiendo cada cuenca como superficie; la obtención del Perímetro (P) de las cuencas con AUTOCAD se obtuvo definiendo el parteaguas como una polilínea; para la Longitud Axial





(La) que se define como la distancia entre la desembocadura y el punto mas lejano de la cuenca, esta distancia se definió y midió en AUTOCAD. También se midió la longitud del cauce principal, que es la medida de la longitud de la corriente principal (L).

Las características que se obtienen mediante ecuaciones son las siguientes:

Ancho promedio:

$$Ap = \frac{A}{La} \quad (1)$$

donde: A = área de la cuenca; La = longitud axial.

Índice de forma:

$$If = \frac{La^2}{A} \quad (2)$$

donde: La = longitud axial; A = área de la cuenca.

Tabla 6:Características Geomorfológicas de las cuencas

Características		Grande	Chiquito	Apamila	Ánimas
Área de la cuenca (A)	Km ²	232.2243	25.181	44.7431	6.921
Perímetro (P)	Km ²	81.7444	24.572	33.28	11.7185
Longitud Axial (La)	Km.	23.6342	9.0714	12.1799	4.6906
Longitud Cauce Principal (L)	Km.	36.3181	10.6925	16.5251	5.8076
Pendiente media Cauce Principal (S)	m/m	0.011188	0.018177	0.019634	0.040304
Pendiente promedio de la cuenca	m/m	0.40535	0.404027	0.396748	0.366666
Orden de corrientes		5	3	4	3
Longitud de las corrientes (Lx)	Km.	511.4126	49.7383	98.9475	16.6437
Ancho Promedio (Ap)	Km.	9.8258	2.7759	3.6735	1.4755
Índice de forma (If)		2.4053	3.268	3.3156	3.179
Factor Forma (Ff)		0.4157	0.306	0.3016	0.3146
Coefficiente de Compacidad (Kc)		1.502	1.3711	1.3931	1.2472
Relación de elongación (Re)		2.404	2.2594	2.2076	2.5182
Densidad de drenaje (Dd)		2.2022	1.9752	2.2115	2.4048
Elevación media	msnm	1,564	1,430	1,423	1,228

Factor de forma:

$$Ff = \frac{Ap}{La} \quad (3)$$

donde: Ap = ancho promedio; La = longitud axial

Coefficiente de compacidad

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (4)$$





donde: P = perímetro de la cuenca; A = área de la cuenca.

Relación de elongación

$$Re = \frac{20 \frac{A}{P}}{La} \quad (5)$$

donde: A = área de la cuenca, P = perímetro de la cuenca, La = longitud axial de la cuenca.

Densidad de drenaje

$$Dd = \frac{Lx}{A} \quad (6)$$

donde: Lx = longitud de las corrientes, A = área de la cuenca.

Pendiente media del cauce principal

Para la obtención de la pendiente media del cauce principal de las cuencas, se trabajo con AUTOCAD y CIVILCAD se obtuvo como resultado final el mapa de pendientes de los cauces principales. El método de cálculo fue el método de Taylor-Schwarz cuya ecuación esta dada por:

$$S \uparrow \left[\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{s_1}} \hat{G} \frac{l_2}{\sqrt{s_2}} \hat{G} \dots \hat{G} \frac{l_n}{\sqrt{s_n}}} \right]^2, \quad s_n \uparrow \frac{H_n}{l_n} \uparrow \frac{Elevación_n - Elevación_{n-1}}{l_n} \quad (7)$$

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

Elevación media de la cuenca

La variación de la elevación de una cuenca incide sobre la distribución térmica. El método seguido para la determinación de la elevación media es el de la curva hipsométrica. Esta curva representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. Por otro lado es posible convertir la curva hipsométrica en función adimensional, usando en lugar de valores totales en los ejes, valores relativos, dividiendo la altura y el área por sus respectivos valores máximos, este gráfico adimensional es muy útil ya que esta curva se la relaciona con la edad de los ríos (jóvenes, maduros y viejos).

Análisis de características geomorfológicas

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





Para la cuenca del río Grande su Área (A) la define como cuenca grande y esta Área influye de forma importante en el gasto medio de la cuenca, no así en el caso de las cuencas de las Animas y Chiquito. Por otro lado se puede decir que el efecto de las crecidas es el más bajo en la cuenca del río Grande respecto a las cuencas Chiquito, Apamila y Animas.

Los parámetros de forma relacionan el movimiento del agua y la respuesta de la cuenca al movimiento del agua. De la Tabla 6, se observa que en la medida que el área de la cuenca aumenta, el Índice de Forma (If) disminuye, lo cual nos indica una tendencia de alargamiento en cuencas grandes y poco alargamiento en cuencas con superficies pequeñas como Animas y Chiquito; Índice que nos da idea de la forma del hidrograma unitario. El coeficiente de compacidad (Kc) al ser valores mayores a la unidad en las cuatro cuencas, nos indica la tendencia de las cuencas a concentrar fuerte volúmenes de escurrimiento.

Dentro de los parámetros relativos al relieve de la cuenta tenemos la pendiente del cauce principal (S), nos indica que los cauces del estudio se encuentran en una topografía suave; del análisis del perfil altimétrico de los cauces principales se pueden inferir rasgos generales de la respuesta hidrológica y su representación en el hidrograma, es decir la variación del gasto en el tiempo, para la cuenca de las Animas se observa que presentará un hidrograma con punta, no tanto así las cuencas restantes. La pendiente promedio de la cuenca nos da idea de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y erosión de la cuenca, en las cuencas en estudio la pendiente media es alrededor del 40%, donde las cuencas del río Grande y Chiquito son las de mayor pendiente promedio y por tanto las cuencas que presenten una velocidad media de la escorrentía en la cuenca alta e importante capacidad de arrastre. La altura media del río Grande es 1550 msnm, del río Apamila y Chiquito son de 1400 msnm, y el río Animas tiene una altura media de 1200 msnm. Del análisis hipsométrico se concluye se trata de ríos jóvenes.

Dentro de los parámetros que caracterizan la red de canales se tiene la densidad de drenaje. Valores bajos de la Densidad de drenaje (Dd) son valores del orden de 7 o menores, estos valores están asociados a regiones de alta resistencia a la erosión, muy permeables.

III.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS RÍOS

A continuación se presentan las características de los ríos, como son la longitud, pendientes, sinuosidad así como la zona en la que se encuentra cada uno de los ríos.

III.2.1. RÍO CHIQUITO

El perfil del río tiene un desarrollo de 10.69 km y va desde la elevación 2009 hasta la 1020 msnm, donde se une con el río Grande (figura 16). La

MARCELINO DÍAZ CÁRDENAS





pendiente media de cauce, de acuerdo con Taylor y Schwarz (Aparicio, 1987) es de 0.0182.

Como la pendiente en la zona en la que se ubica la población es pequeña, el río Chiquito presenta zonas de sedimentación, que esta formada por material grueso proveniente de la zona montañosa de la cuenca, así como sinuosidad en una parte del río como se describe en seguida.

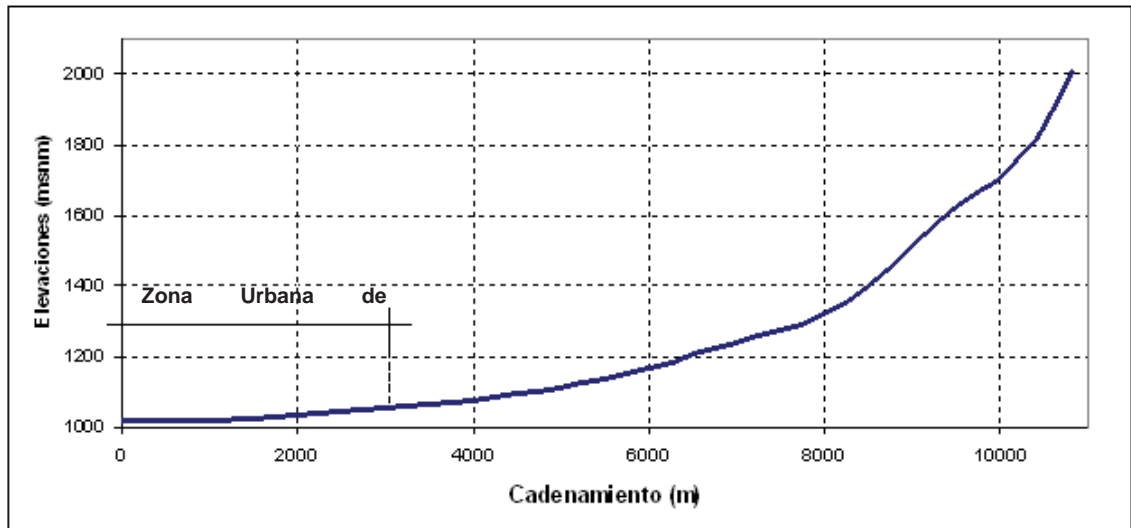


Figura 16. Perfil longitudinal del río Chiquito

SINUOSIDAD DEL CAUCE (MEANDROS)

Cuando se realizó la revisión de la zona urbana en mapas de la localidad editados por el INEGI y, posteriormente durante el recorrido de campo, se identificó una zona donde existen cambios bruscos en la dirección de la corriente, conocidos como meandros (figura 17).

En ese sentido, desde la calle *Leona Vicario* y hasta la calle *Matilde Pimentel* existe sinuosidad del cauce; sin embargo, el punto crítico está delimitado al norte por la calle *Tomás Vázquez Ureña*, al sur por *Herminia Manzo*, al este por la *Av. Zaragoza* y al oeste por la calle *Carlos Pallares*.

En el caso particular del *río Chiquito*, la consecuencia inmediata de estos meandros es que cuando a través de su cauce escurre un cierto caudal, del orden de la mitad de su capacidad, no es posible que siga la dirección de la corriente por lo que el agua se sale del cauce, es decir, se producen desbordamientos.

Para dar solución a este problema, la opción más viable es rectificar el cauce del río en la zona afectada, dejando que el agua fluya de manera más libre.



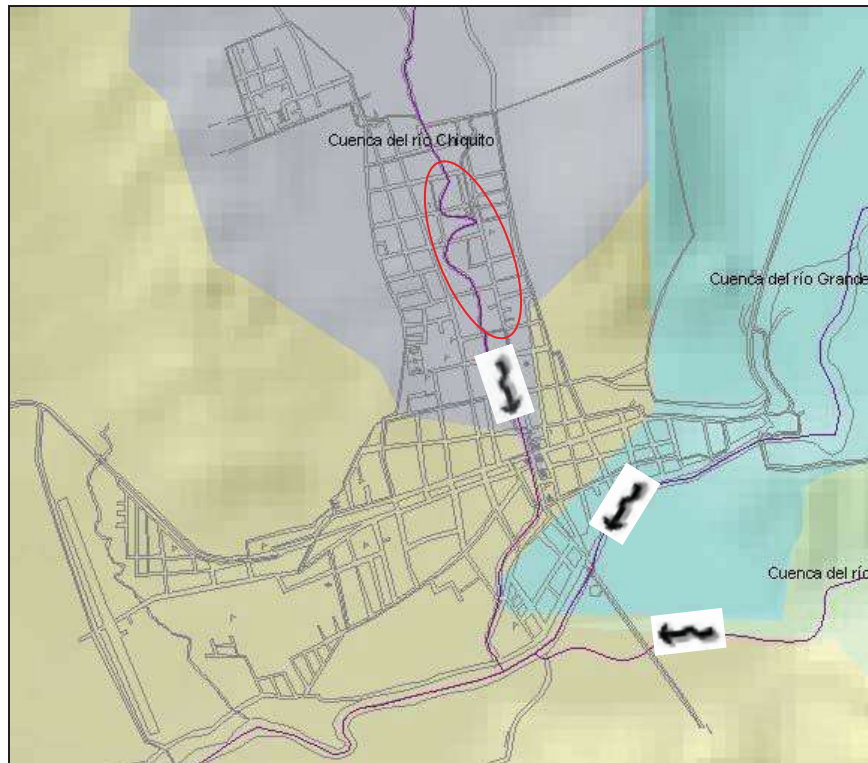


Figura 17. Zona con problemas debido a meandros

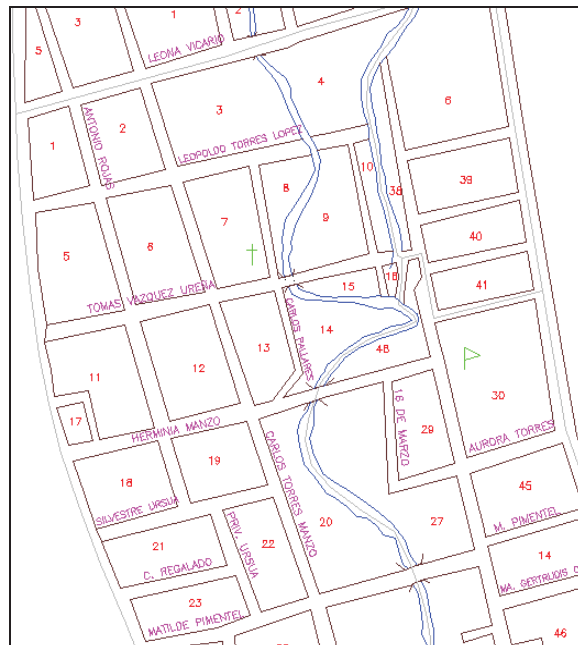


Figura 18. Detalle de la zona

III.2.2. RIO GRANDE

Aunque a nivel nacional es más conocido como *río Coacomán*, localmente se denomina *río Grande* (figura13). Nace a 2060 msnm, 36 km al noreste de la cabecera municipal del municipio de *Coacomán de Vázquez*

MARCELINO DÍAZ CÁRDENAS





Pallares. Su cauce principal se desarrolla, desde su nacimiento hasta la confluencia con el río Chiquito, en aproximadamente 36.31 km y la pendiente media es de 0.011 (figura 18).

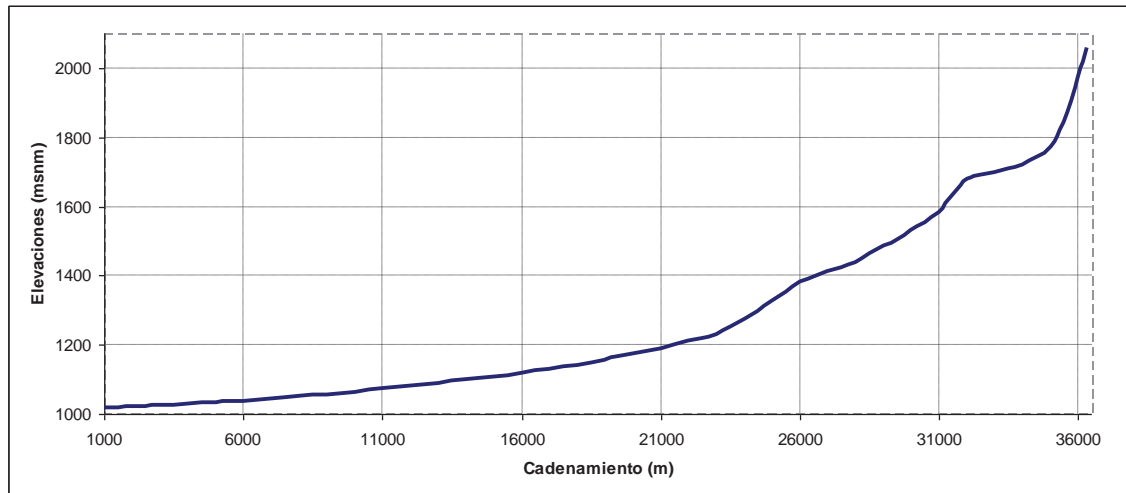


Figura 19. Perfil longitudinal del río Grande (río Coalcomán)

Como se puede ver en el perfil longitudinal del río Grande, el río se encuentra dentro de dos zonas, la primera zona se clasifica como río de montaña y lo constituye la mayor parte de este, el resto del río se encuentra dentro de la zona clasificada como río de llanura o ríos que presentan pendientes bajas, en los cuales se presenta depósitos de material sedimentario provenientes de la zona montañosa de este río, presentando sedimentos gruesos y rocas.

Al parecer el río no presenta sinuosidad en la zona de baja de este, solo presenta varios meandros en la parte constituida por relieve montañoso debido a la topografía .

III.2.3. RIO APAMILA

El *río Apamila* es un afluente del *río Grande* y drena una cuenca cercana a los 44.74 km² (figura 14). Nace a 2408 msnm, 16 km al oriente de *Coalcomán*. El desarrollo de su cauce principal, desde su nacimiento hasta la descarga en el *río Grande* es de 16.53 km. Su pendiente media es cercana a 0.0196 (figura 19).

El río Apamila también presenta sinuosidad a lo largo de su cauce, sobre todo en la parte media del cauce y en la confluencia con el río Grande, consecuentemente este desemboca en sentido contrario a la del flujo del río Grande.



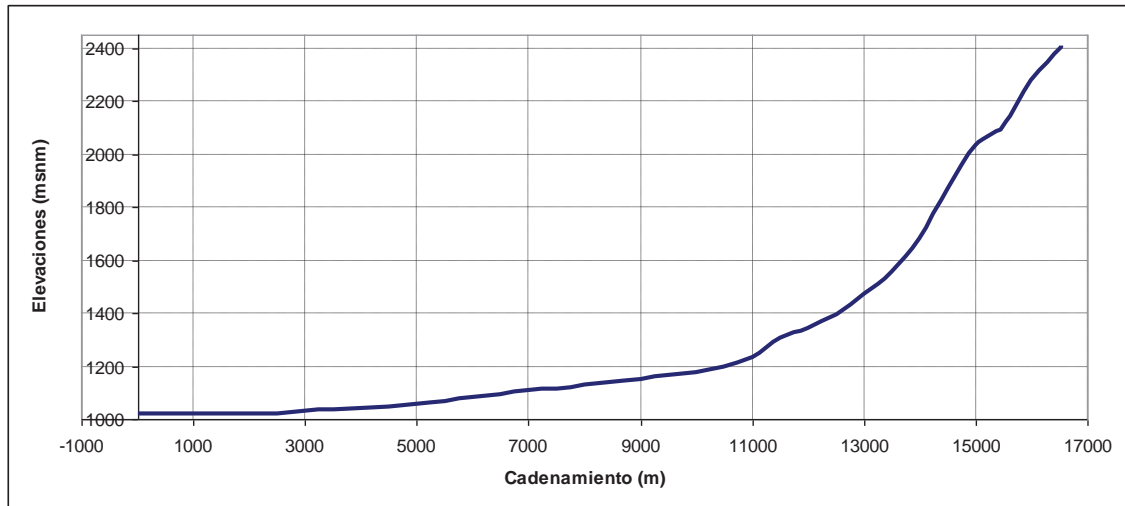


Figura 20. Perfil longitudinal del río Apamila

III.2.4. ARROYO LAS ANIMAS

El arroyo *Las Animas* desemboca aguas abajo de la zona urbana de la comunidad de Coalcomán, por lo tanto no se considera de gran importancia.

Aquí se describen las características principales de este arroyo así como su perfil longitudinal, ya que en la modelación del sistema fluvial se considero como parte del sistema fluvial, esto con el objetivo de determinar sus características hidráulicas tal como el gasto formativo.

El arroyo *Las Animas* tiene una longitud de 5.8 Km. y se ubica a 1.4 Km. aguas debajo de la confluencia del río Chiquito, una pendiente de 0.04, nace a una elevación de 1680 msnm y termina a 1020 msnm en la confluencia con el río Grande o Coalcomán(Figura 20)

El arroyo se encuentra casi a las afueras de la comunidad de Coalcomán y la sinuosidad del río es muy parecida a la del río Chiquito.



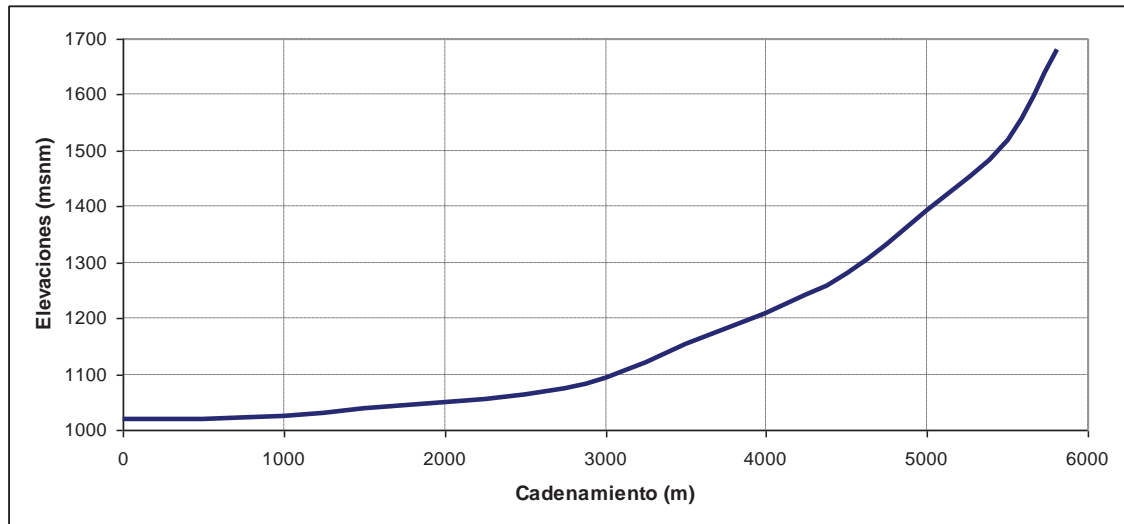


Figura 21. Perfil longitudinal del arroyo Las Animas

III.3. COMPORTAMIENTO

La meteorología de la cuenca nos indica la presencia de eventos extraordinarios esporádicos y recurrentes.

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

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

La actuación humana en las cuencas mediante la deforestación, ha ocasionado problemas de erosión y azolve en las cuencas, así como el crecimiento del poblado sobre los cauces; y las condiciones naturales de la meteorología en las cuencas: lluvias extraordinarias; han llevado a la comunidad de Coalcomán ha encontrarse en una zona de alto riesgo de inundación

Debido a las causas mencionadas anteriormente, el sistema fluvial adquirió un comportamiento inestable, el cual se traduce en la problemática de cada uno de los ríos. El río que presenta cambios importantes en su comportamiento, es el río Chiquito, el cual presenta varios efectos ocasionados por el hombre y otros por la naturaleza del mismo, tal es el caso del taponamiento del río Chiquito en la confluencia con el río Grande y un tramo en el cual se reduce el área hidráulica de la sección transversal debido a el confinamiento del cauce.





Taponamiento Hidráulico

Este efecto se presenta en la confluencia del *río Grande* con el *río Chiquito*, y se produce cuando el nivel del agua en el primero es mayor que en el segundo. Esto puede suceder durante la época de lluvias o simplemente con una tormenta lo suficientemente grande para cubrir ambas cuencas tributarias, provocando escurrimiento en ambos ríos (el *Grande* y el *Chiquito*).

La cuenca del *río Chiquito* es la que afecta directamente la zona urbana de *Coalcomán* y aunque es pequeña, respecto a las otras, sus efectos se magnifican cuando interactúa con el resto de la cuenca de aportación. Así por ejemplo, si se registra una tormenta intensa en la parte alta de la cuenca que afecta directamente a la cabecera municipal, el comportamiento del cauce puede verse comprometido.

Más aún, si al mismo tiempo el *río Grande* tiene un escurrimiento significativo, el funcionamiento de la corriente que cruza la localidad es afectado en mayor medida (figura 22). Esta última figura muestra los escurrimientos extraordinarios en el río Grande del día 5 de septiembre de 1999; compárese con la figura 5, que es una toma muy parecida a la anterior, pero con el escurrimiento habitual en dicho río.

El problema es que el agua que fluye por el cauce del *río Chiquito* no se puede incorporar a los escurrimientos del *río Grande*, lo que provoca un incremento del nivel del agua que se propaga hacia la zona urbana de *Coalcomán*, por lo que la inundación avanza sobre el cauce del río *Chiquito*, desde el *río Grande* hacia la zona de la montaña (figura 23).



**Figura 22. Vista del río Grande con escurrimientos de consideración,
(fuente video PC Michoacán)**





Figura 23. Vista del río Chiquito con escurrimientos de consideración (vista de aguas arriba hacia aguas abajo), (fuente video PC Michoacán)

A este respecto, no queda más opción que regular los escurrimientos en el río *Chiquito*, tratando de que el volumen de agua no ocasione incrementos excesivos en los niveles del mismo.

Comentarios hechos por habitantes que vivieron la inundación del 6 de septiembre de 1999, así como escenas de un video formado con tomas de diversas personas durante y después del evento (Video PC - Michoacán), pusieron de manifiesto la problemática existente en el tramo que recorre el río *Chiquito* entre las calles *José María Morelos poniente* y la calle de *Hortelanos*, ya que ese recorrido lo hace dentro de una sección confinada de concreto de sección variable, que a la entrada tiene unas dimensiones aproximadas de 3 x 8 m (figura 24).

En el interior de dicho túnel existen numerosos obstáculos (pilotes de algunas de las construcciones edificadas sobre el mismo) que actúan como trampas de basura, troncos, etc. y provocan grandes concentraciones de materiales que taponan parcialmente el conducto (figura 25), disminuyendo su capacidad hidráulica, lo que trae como consecuencia el desbordamiento del río al inicio de la sección confinada.

Es importante mencionar que la decisión de derribar las construcciones que estaban ubicadas sobre la calle *Reforma*, fue adecuada pero no suficiente, debido a que los problemas provocados por la falta de capacidad del túnel sólo se trasladaron del cruce de las calles de *Reforma* y *Fco. Javier Mina* al cruce de las calles de *Reforma* y *José Ma. Morelos Pte.* y, con seguridad, la próxima vez que se presenten escurrimientos de consideración sobre el río *Chiquito*, se volverán a ver los mismos problemas que ocurrieron en septiembre de 1999.





MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA FLUVIAL DEL MUNICIPIO DE COALCOMÁN MICHOACÁN

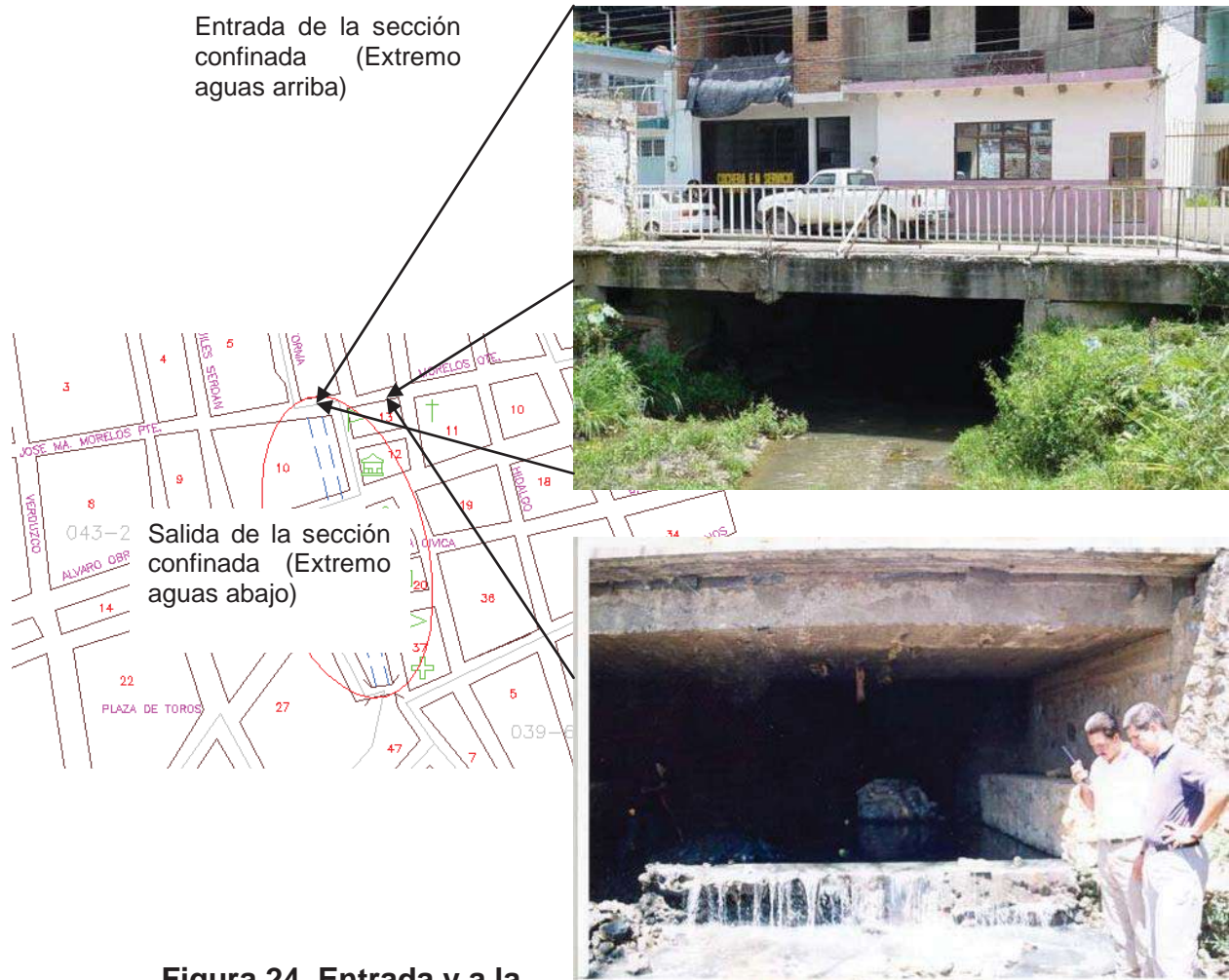


Figura 24. Entrada y a la salida de sección confinada del río Chiquito, (fuente: Presidencia Municipal de Coacomán)

Otra problemática inherente a la existencia de la bóveda, y cuyas consecuencias pueden ser aún mayores, es que algunas de las construcciones ubicadas encima de la bóveda cuentan con una cimentación que actualmente está “volando” ya que, por los efectos de socavación que se han presentado en ese lugar, el material sobre el que fue desplantada ya no existe (figura 25).





Figura 25. Cimentación de edificaciones ubicados sobre la bóveda del río Chiquito, 2002 (fuente: Presidencia Municipal de Coalcomán)





IV. SOFTWARE EXISTENTE PARA LA MODELACION HIDRÁULICA

La complejidad inherente a los procesos que tienen lugar en el medio natural ha hecho necesario el desarrollo de herramientas que faciliten la labor de los técnicos que trabajan en estos campos. Entre las herramientas más sofisticadas de las que se dispone en la actualidad se encuentran los modelos de simulación. Entre ellos, los que tienen su aplicación en el campo de la modelización del flujo y calidad de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, se encuentran entre los más desarrollados y utilizados.

Existen numerosos programas para modelar las condiciones hidráulicas y morfológicas en ríos; dichos programas varían en el grado de sofisticación y fiabilidad. La ciencia de la modelación numérica esta progresando rápidamente haciendo que nuevos programas replacen a los ya obsoletos. Los programas para modelación pueden clasificarse dependiendo de qué calculan, cuántas dimensiones son usadas y particularidades de los métodos numéricos empleados, lo que hace que muchos de ellos sean para aplicaciones muy específicas.

En el caso de la hidráulica fluvial, los modelos pueden clasificarse como: modelos de lecho fijo, modelos de lecho móvil y modelos de régimen permanente y no-permanente, aunque pueden existir combinaciones entre ellos.

IV.1. MODELOS UNIDIMENSIONALES

Los modelos unidimensionales, pueden ser desarrollados en flujo permanente o flujo no permanente, aquí se explicara la descripción de cada uno de los modelos y los métodos que utilizan para los diferentes flujos.

IV.1.1. MODELOS 1D EN REGIMEN PERMANENTE

Estos modelos permiten el cálculo en régimen gradualmente variado y fondo fijo. Están hoy en día en plena vigencia ya que para estimación de cotas de lámina de agua en caso de avenida en las que el factor tiempo no es importante son perfectamente válidos.

Se basan en esquemas numéricos relativamente simples pero eficaces, pueden considerar cambios de régimen, cauces con geometrías complejas y con llanuras de inundación, singularidades como puentes, diques, pasos bajo vía, etc.

El esquema numérico más utilizado es el denominado *paso a paso*. Para la gran mayoría de simulaciones fluviales que se llevan a cabo hoy en día se utilizan este tipo de modelos ya que para delimitación de zonas inundables,

MARCELINO DÍAZ CÁRDENAS





dimensionamiento de infraestructuras tales como puentes, presas, alcantarillas etc. son perfectamente válidos.

Los modelos comerciales de este tipo más utilizados son HEC-RAS (USACE) y MIKE 11 (DHI).

IV.1.2. MODELOS 1D EN REGIMEN VARIABLE

Para simular el régimen variable, necesario por ejemplo para la simulación de la rotura de una presa, hay que solucionar las ecuaciones de Saint-Venant. Los modelos existentes se dividen en dos tipos en función de si resuelven las ecuaciones de Saint-Venant completas o si realizan alguna simplificación.

La mayoría de modelos comerciales que se usan en la actualidad resuelven el esquema de Preissmann o alguna variante de éste. Algunos de estos modelos son: HEC-RAS, MIKE-11 Y SOBEK.

IV.2. MODELOS CUASI-BIDIMENSIONALES

Para describir muchos fenómenos naturales como puede ser la inundación de una gran llanura, la confluencia de dos cauces, el cruce de dos corrientes de agua, el flujo en un cauce ancho e irregular, etc., la aproximación unidimensional deja de ser adecuada y por ello se desarrollaron primero los esquemas cuasi-bidimensionales y luego los esquemas bidimensionales propiamente dichos.

En los esquemas cuasi-bidimensionales se aplican las ecuaciones de Saint-Venant unidimensionales en un cauce principal, mientras que la llanura de inundación se representa mediante un recinto de almacenamiento de agua conectado al cauce.

IV.3. MODELOS BIDIMENSIONALES

Se pueden dividir en esquemas clásicos y esquemas de alta resolución. Los esquemas clásicos se han utilizado con buenos resultados para flujo gradualmente variable, pero no sirven en general para rápidamente variable. Igual que en el caso unidimensional, para la resolución de las ecuaciones de Saint Venant en dos dimensiones se ha utilizado el método de las características, métodos en diferencias finitas y métodos en elementos finitos, pero en el caso bidimensional además se ha utilizado la técnica de discretización en volúmenes finitos. Se ha comprobado que la técnica de los volúmenes finitos es especialmente adecuada para estos casos.

Los esquemas bidimensionales de alta resolución se encuentran todavía en pleno desarrollo y no existen modelos comerciales que puedan utilizarse de





forma generalizada, reduciéndose los modelos existentes a universidades o otros centros de investigación.

En seguida se presentan programas o software, los cuales resuelven los modelos para la simulación hidráulica en cauces.

IV.4. SOFTWARE COMERCIAL Y LIBRE

En este subcapítulo se describirán seis paquetes de software, los cuales son los de mayor demanda, tanto en universidades como por empresas.

El software se puede clasificar a grandes rasgos en software libre o comercial, el software comercial se refiere a software por el cual se tiene que pagar una licencia para su uso, por otro lado el software libre se puede utilizar con toda libertad y pueden ser adquiridos vía Internet.

A continuación se sita una lista en la cual se sitúa el software comercial:

- MIKE 11
- SOBEK
- ISIS

Software Libre:

- WSPRO
- HEC-RAS

IV.5. DESCRIPCION

IV.5.1. MIKE-11

MIKE-11 es una aplicación informática comercial desarrollada por el departamento de software de Danish Hydraulic Institute (Dinamarca) para la modelación unidimensional de flujos en lámina libre y régimen variable. El modelo resuelve las ecuaciones de Saint Venant mediante diferencias finitas y el esquema implícito.

El programa MIKE 11 es una herramienta profesional avanzada para la simulación de flujos, calidad de aguas y transportes de sedimentos en estuarios, ríos, sistemas de riego, canales y otras masas de agua, aplicable al diseño detallado, la gestión y la operación de sistemas sencillos y complejos de ríos y canales.

Debido a su excepcional flexibilidad y velocidad, MIKE 11 provee un ambiente de trabajo completo y efectivo para aplicaciones relacionadas con la ingeniería de diseño, el estudio de recursos hídricos, la gestión de la calidad de las aguas y la planificación en general.



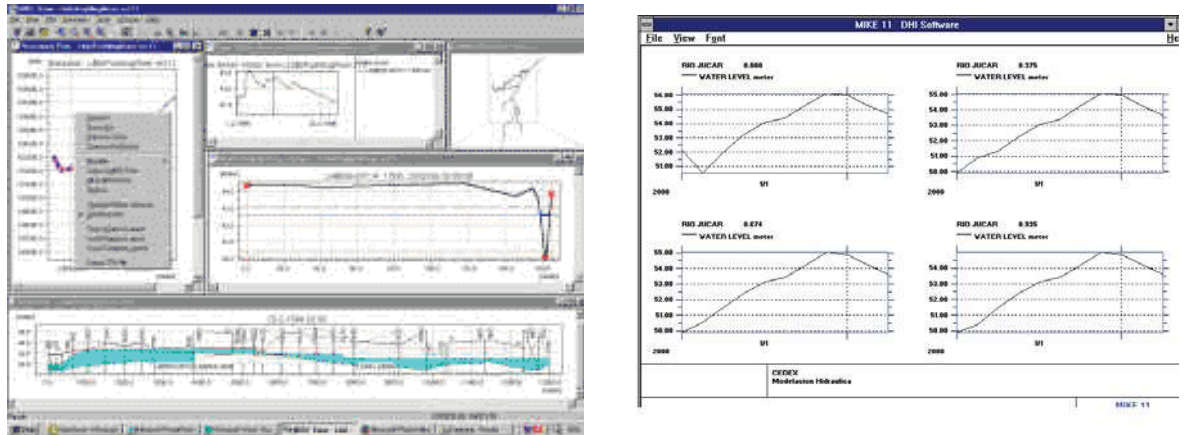


Figura 26. Entorno grafico del programa MIKE 11 y ventana de resultados

La marca **MIKE de DHI** es el nombre comercial de la gama de modelos numéricos y sistemas hidroinformáticos de última generación utilizados en el análisis de problemas de ingeniería y medio ambiente relacionados con el agua.

IV.5.2. SOBEK

SOBEK es el nombre del paquete de programas informáticos altamente sofisticado, que en términos técnicos es un sistema de modelación numérica unidimensional de canales abiertos, equipado con interfaces para el usuario y que es capaz de solucionar las ecuaciones que simulan flujo no uniforme, la intrusión de sal en agua dulce en el caso de estuarios, el transporte de sedimento, la morfología y la calidad del agua.

SOBEK es desarrollado por WL|DELFT HYDRAULICS and Rijkswaterstaat RIZA (Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling) en los Países Bajos.

Los problemas que pueden ser simulados y solucionados en un sistema de ríos son: la protección contra inundación, el diseño de canales, sistemas de irrigación, calidad del agua, la navegación y dragado.

Un interfaz amigable ayuda al usuario a esquematizar el problema y organiza los datos requeridos de tal forma que puedan ser manejados por base de cómputo de SOBEK. El interfaz también le ayuda en el análisis de los resultados de la simulación.

Existe una conexión flexible a los sistemas GIS. SOBEK también permite la integración de módulos, definidos por el usuario, con el uso de formatos de intercambio de datos específicos.

SOBEK tiene un concepto único del interfaz, donde el mismo sistema de herramientas se utiliza para todas las líneas de productos y todos los módulos.





Ejemplos de estas herramientas son el **Case Manager**, **Case Analysis Tool** y el editor de redes GIS **NETTER**.

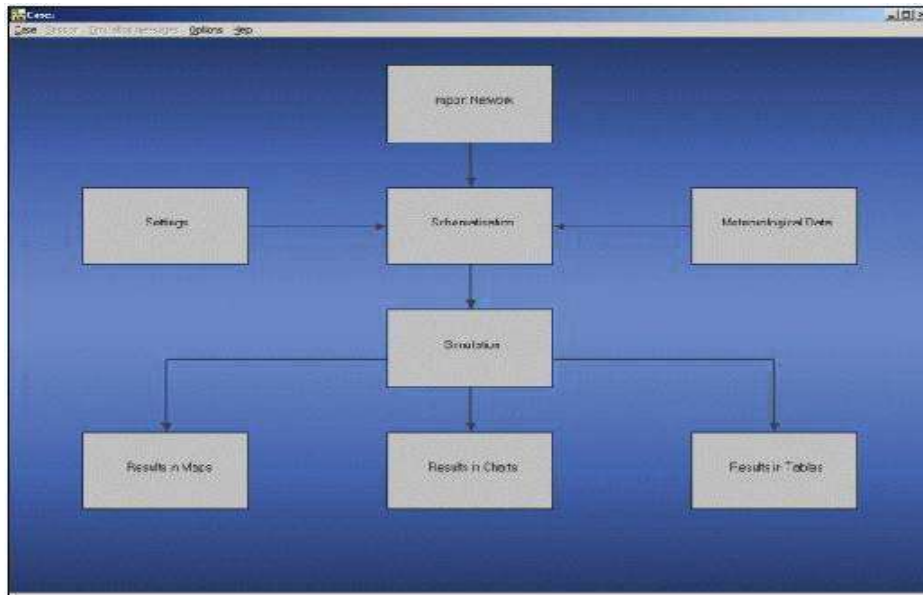


Figura 27. Interfaz Case Manager

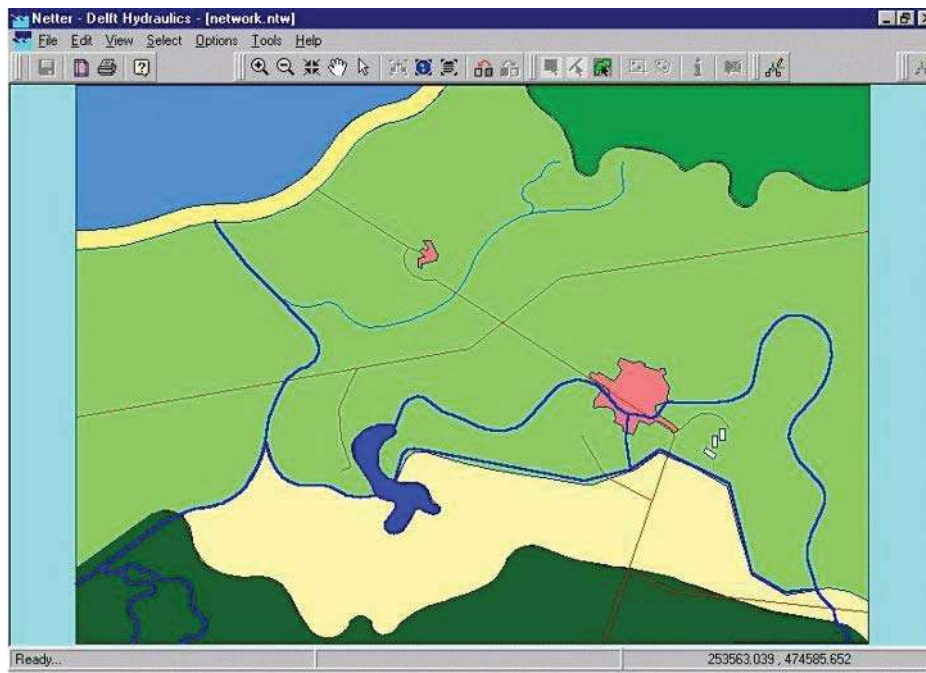


Figura 28. Interfaz Netter

SOBEK lee todos los formatos estándar de GIS y permite que el usuario ligue su sistema de base de datos de GIS a su modelo en SOBEK. Los mapas se pueden importar y todos los objetos y su ID puede ser utilizado directamente. Incluso, también es posible definir su esquematización de SOBEK en su ambiente GIS y exportarlo a SOBEK.

Hay actualmente dos versiones de SOBEK para ríos:

MARCELINO DÍAZ CÁRDENAS





MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA FLUVIAL DEL MUNICIPIO DE COALCOMÁN MICHOACÁN

SOBEK-RE: En el cual las siglas RE se refiere a los ríos y a los estuarios. Esta versión fue desarrollada en el período entre 1995 y 2000, permaneciendo sin modificación desde entonces. SOBEK-RE todavía es utilizado para el modelo morfológico, pero será substituido en el futuro por SOBEK-RIVER.

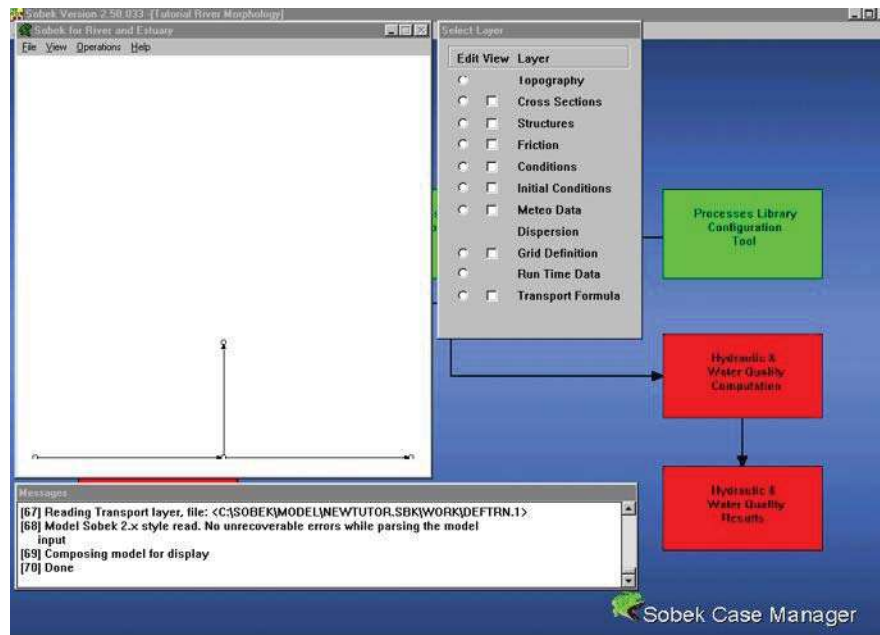


Figura 29. Interfaz grafica de SOBEK-RE

SOBEK-RIVER es la nueva versión de SOBEK, capaz de simular flujo en un canal en 1D y desbordamiento en 2D. Es parte de la nueva línea de productos SOBEK, que integra todos los módulos en un ambiente GIS. Aunque sea más amigable y más flexible que el SOBEK-RE, todavía no contiene un módulo fácil de usar para simular la morfología.

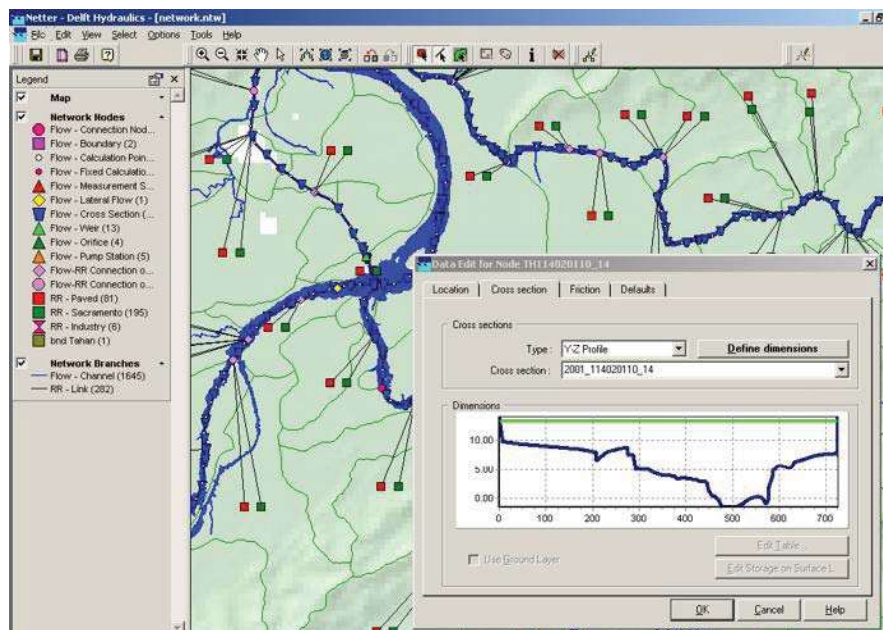


Figura 30. Interfaz grafica de SOBEK-RIVER (basado en GIS)





IV.5.3. ISIS

ISIS es un paquete de software que cuenta al igual que el modelo SOBEK y el modelo MIKE 11 con diferentes módulos, los cuales están diseñados para proporcionar soluciones a problemas específicos, de los cuales se encuentran la determinación de los niveles del agua o lo que se refiere a perfiles de los cauces, transporte de sedimentos, calidad del agua, etc. A continuación se describe brevemente cada uno de los módulos y sus características, así como de las herramientas que ofrece cada uno de ellos.

IV.5.3.1. ISIS-FLOW

Una de las principales áreas de aplicación de ISIS-Flow, es la ingeniería de ríos y defensa contra inundaciones. ISIS-Flow es aplicable en la ingeniería de Irrigación y una amplia gama de diseño de canales abiertos como es el transporte de sedimentos en canales. ISIS-Flow ha sido utilizado para diseños hidráulicos en muchos proyectos de ingeniería por todo el mundo.

Modelo desarrollado en ambiente Windows.

- Entrada, Edición y verificación de datos de una manera rápida
- Ayuda comprensiva en línea
- Gráficos de gran alcance incluyendo la visualización y animación de la red de canales o ríos, e impresión de reportes de gran calidad
- Exportación de gráficos y texto al sistemas GIS, Software AutoCAD, Procesadores de texto y hojas de calculo

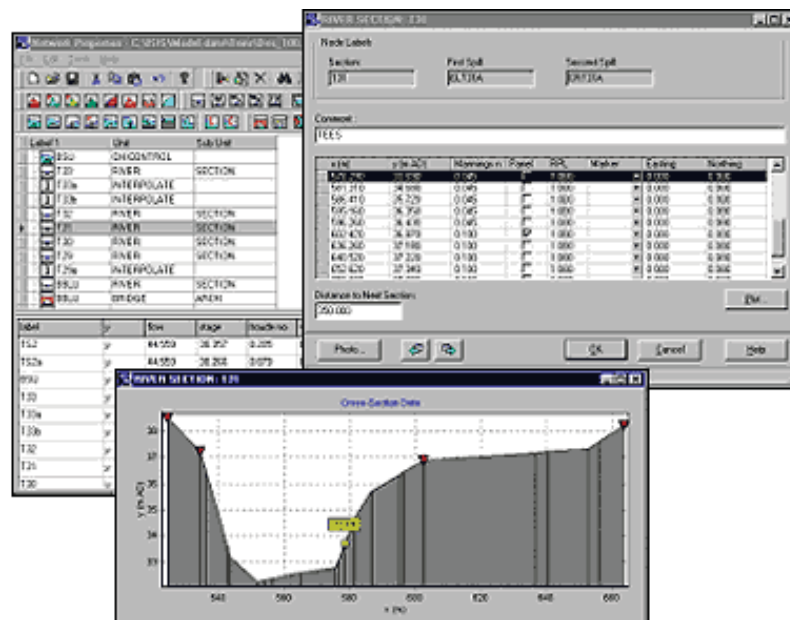


Figura 31. Entrada, Edición y Corrección de datos



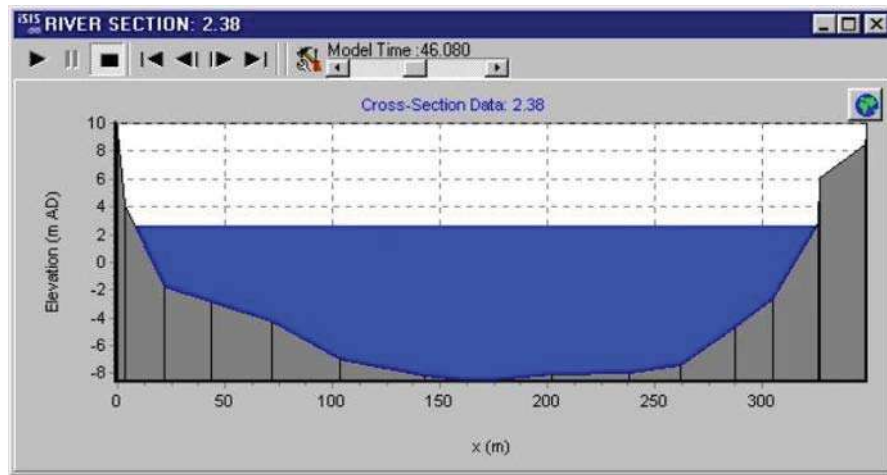
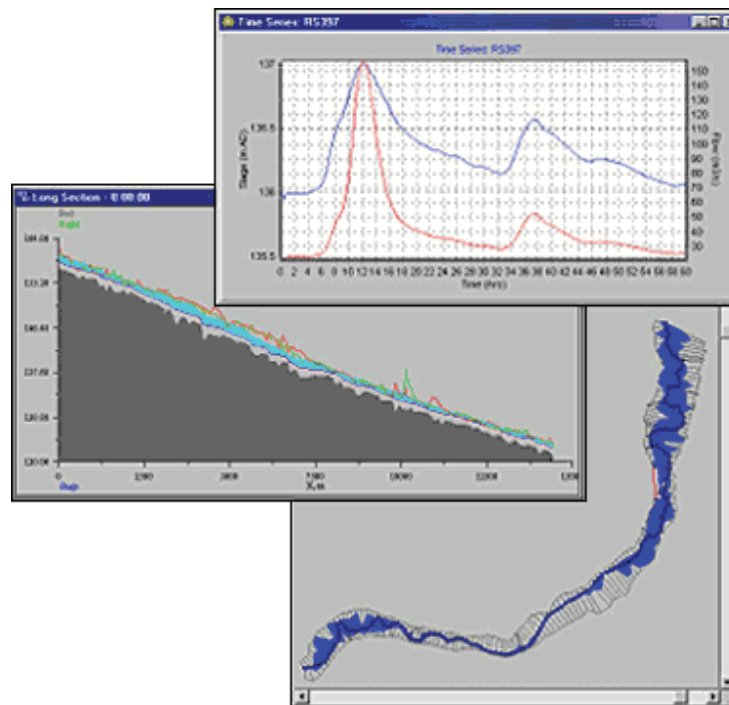


Figura 32. Presentación grafica de una sección transversal en ISIS-Flow



Display of model results overtime, in profile and in plan view

Figura 33. Muestra de resultados de la modelación en perfil y vista en planta

IV.5.4. WSPRO

WSPRO fue desarrollado por el Geological Survey de los EE.UU. para las oficinas de investigación, desarrollo y tecnología del Federal Highway Administration.

El uso de este software es la responsabilidad del usuario. Es imprescindible que el ingeniero responsable entienda de las limitaciones potenciales de la exactitud de los resultados del programa.





MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA FLUVIAL DEL MUNICIPIO DE COALCOMÁN MICHOACÁN

El programa WSPRO calcula perfiles de superficie de agua para flujo subcrítico, crítico, o supercrítico en tanto el flujo pueda ser clasificado como uni-dimensional, gradualmente variado y estacionario.

WSPRO puede usarse para analizar (1) flujo en canales abiertos, (2) flujo a través de puentes (apertura singular o múltiple), (3) flujo a través de alcantarillas, (4) sobrepaso de terraplenes (5) análisis de canales de evacuación y (6) socavación de puentes.

El programa fue desarrollado principalmente para analizar el efecto de los remansos por cruces de corrientes de agua existentes o evaluar alternativas de aperturas de puentes y/o de configuraciones de terraplenes. El programa es aplicable a análisis de perfiles de superficie de agua para diseño de carreteras y problemas vinculados al mapeo de planicies de inundación y al desarrollo de relaciones nivel-caudal.

IV.5.5. HEC-RAS

HEC-RAS es un modelo de dominio público desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineers), surge como evolución del conocido y ampliamente utilizado HEC-2, con varias mejoras con respecto a éste, entre las que destaca la interfase gráfica de usuario que facilita las labores de preproceso y postproceso, así como la posibilidad de intercambio de datos con el sistema de información geográfica ArcGIS mediante HEC-GeoRAS. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre.

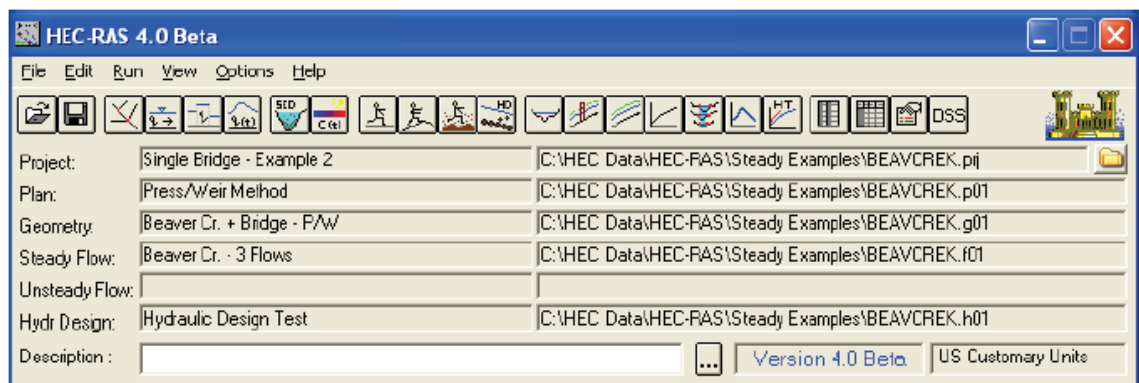


Figura 34. Ventana principal del programa HEC-RAS

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Cálculo hidráulico de estructuras (puentes, aliviaderos, alcantarillas, etc.)
- Visualización gráfica de datos y resultados
- Edición gráfica de secciones.
- Ejecutable en entorno Microsoft Windows.

MARCELINO DÍAZ CÁRDENAS



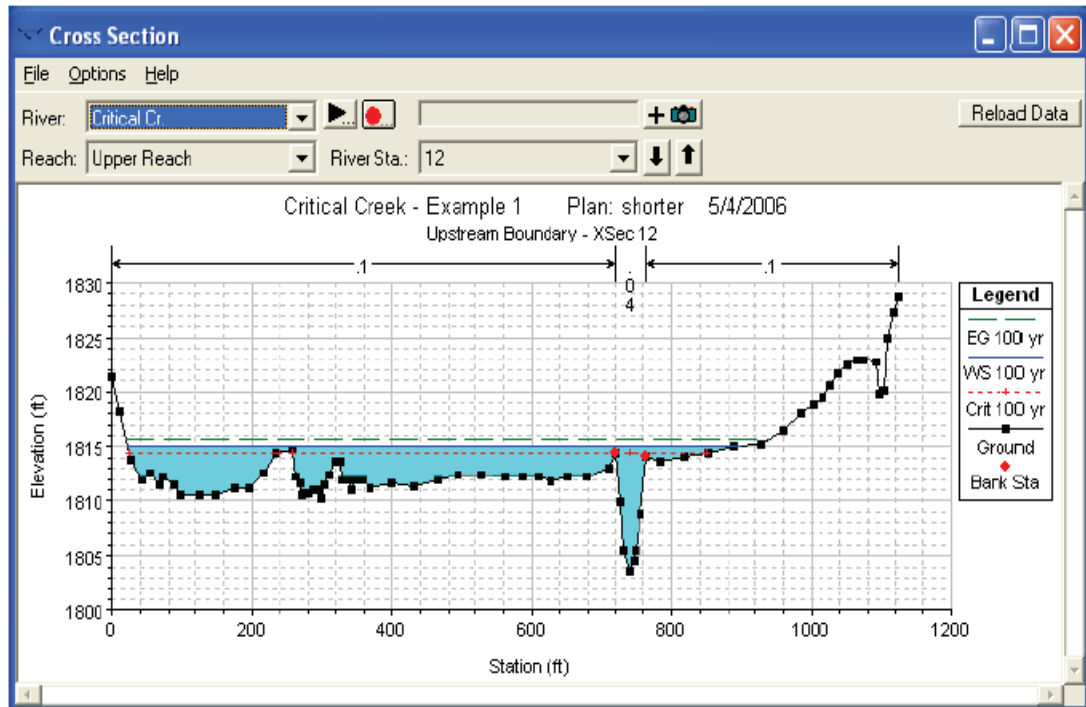


Figura 35. Visor de resultados en un a sección transversal

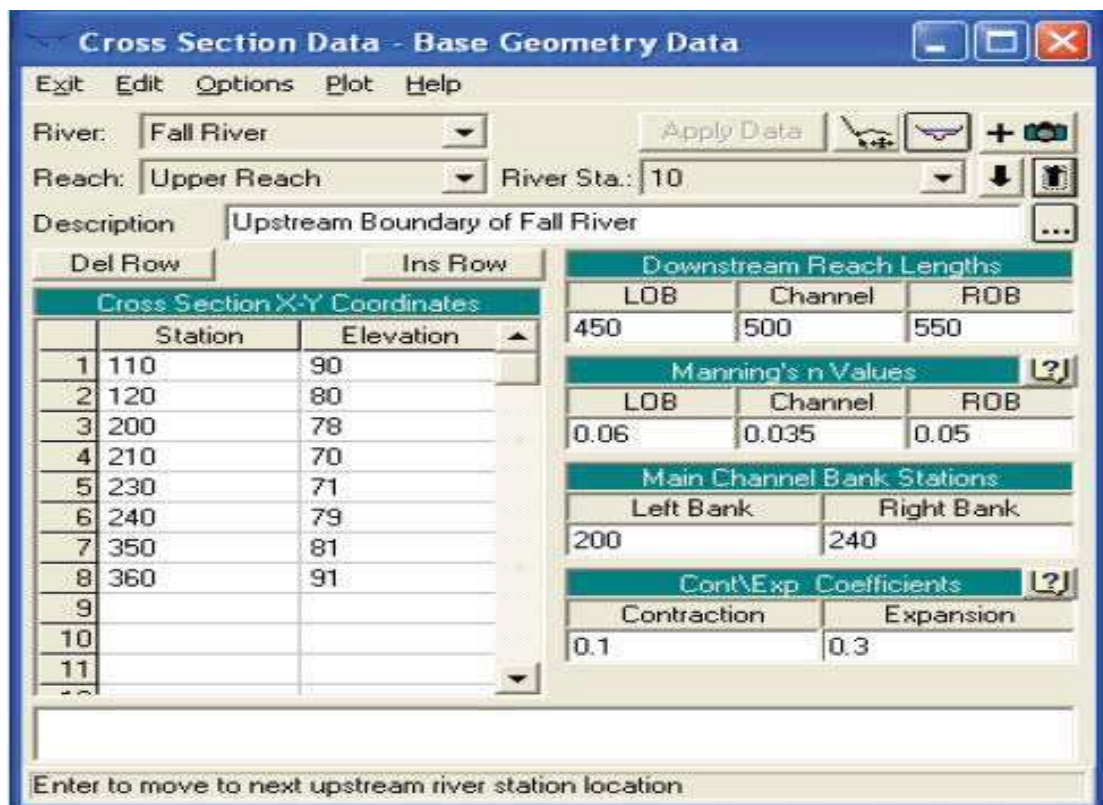


Figura 36. Editor de secciones transversales del HEC-RAS



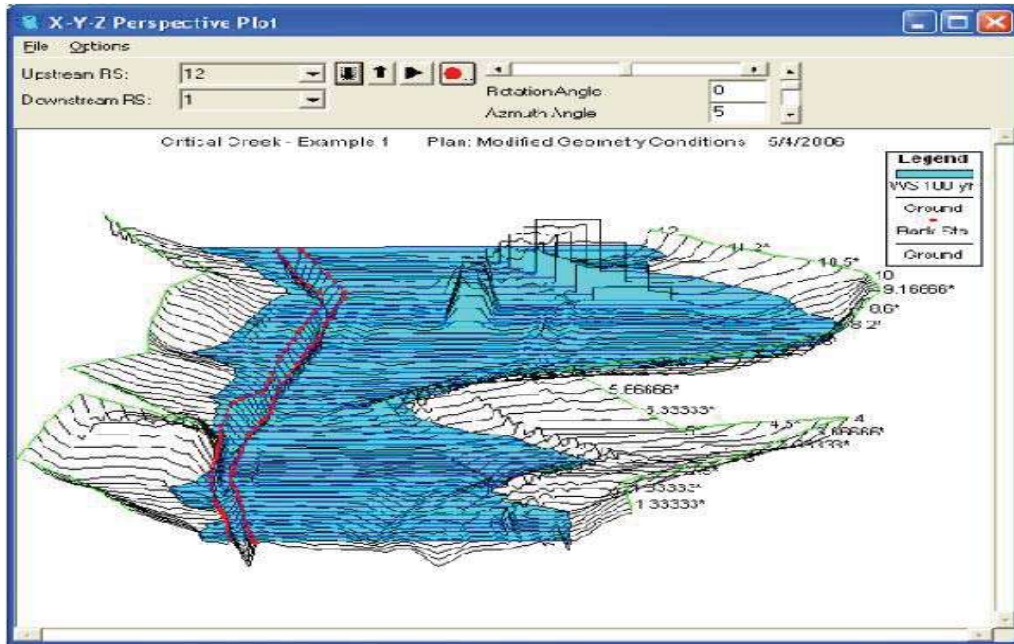


Figura 37. Visor de resultados del HEC-RAS en 3D

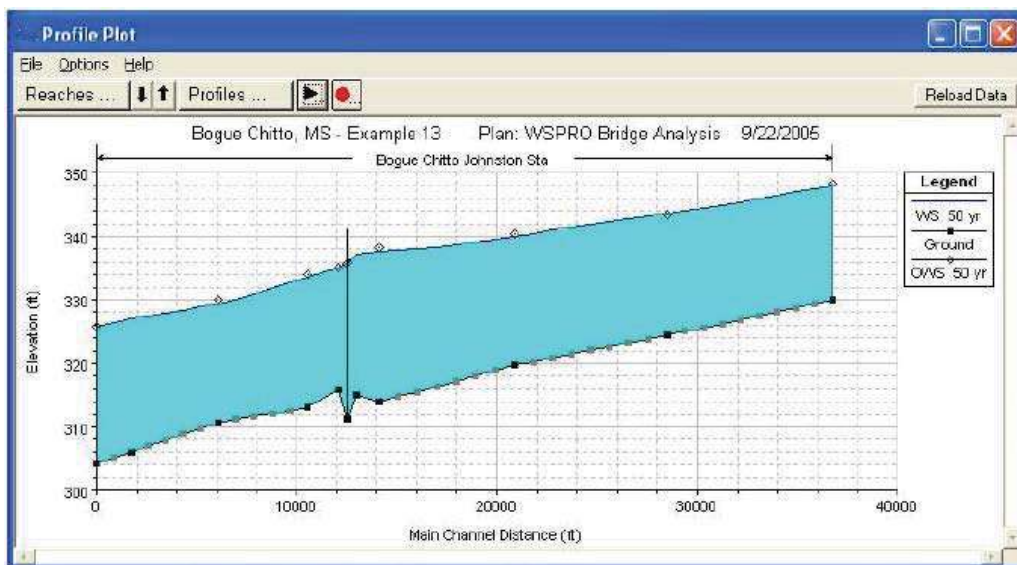


Figura 38. Vista de un perfil en HEC-RAS

APLICACIONES

Modelación hidráulica en régimen permanente de cauces abiertos, ríos y canales artificiales.

HEC-RAS contiene cuatro componentes para el análisis unidimensional en ríos: (1) calculo del perfil de la superficie del agua para flujo estacionario, (2) flujo no estacionario, (3) calculo del trasporte de sedimentos, (4) análisis de cualidades del agua.





IV.6. VENTAJAS Y LIMITACIONES

IV.6.1. MIKE 11

VENTAJAS

- Cada subsección puede ser tratada de forma independiente
- La transferencia de datos entre los distintos módulos es automática.
- Fácil vinculación de los procesos físicos (por ejemplo morfología de río, resuspensión de sedimentos, calidad de aguas).
- Sencillo y de fácil actualización o expansión de la versión existente por medio de módulos adicionales y/o nuevos.

DESVENTAJAS

- El programa una vez compilado no es capaz de reubicar los archivos existentes si se les cambia de nombre.
- Posee algunas limitaciones como copiar datos provenientes de una hoja de cálculo y pegarlos en la aplicación.
- El FHWA no proporciona ayuda o ayuda de usuario para este software

IV.6.2. SOBEK

VENTAJAS

- Desarrollo en ambiente Windows el cual ayuda a la esquematización de sistema en estudio
- Conexión flexible a los sistemas GIS
- Flexibilidad modular
- La transferencia de datos entre los módulos es automática
- Los módulos puede ser corridos simultáneamente

IV.6.3. ISIS

VENTAJAS

- Modelo desarrollado en ambiente Windows
- Modelación de un amplia gama de estructuras tales como: puente, alcantarillas, vertedores. Etc.
- Desarrolla las reglas de operación de estructuras movibles y bombas
- Transferencia de datos entre los diferentes módulos de ISIS





- Procesos físicos (por ejemplo morfología de río, resuspensión de sedimentos, calidad de aguas).

IV.6.4. WSPRO

VENTAJAS

- El software es libre, y se puede adquirir por Internet
- Calcula flujo a través de puentes, (abertura singular o doble), alcantarillas, desbordamiento de terraplenes, socavación de puente.
- Ingreso de datos sin formato
- Las tablas de los parámetros seleccionados se definen por el usuario para producir un formato específico de salida
- Wspro tiene 55 parámetros de cálculo que deben combinarse para construir la tabla de salida

DENSVENTAJAS

- Wspro está escrito en Fortran
- No está desarrollado en ambiente Windows

IV.6.5. HEC-RAS

VENTAJAS

- HEC-RAS es un programa totalmente gratuito que puede obtenerse en la página web del United States Army Corps of Engineers (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos).
- Intercambio de datos con el sistema de información geográfica ArcGIS mediante HEC-GeoRAS
- Visualización gráfica de datos y resultados
- Ejecutable en ambiente Microsoft Windows
- Estudio de seguridad ante avenidas.
- Análisis con múltiples planes y perfiles.
- Análisis con múltiples aperturas en puentes y alcantarillas.
- Análisis de socavación en puentes.
- Análisis de vertederos libres y controlados.

IV.7. SELECCIÓN DEL SOFTWARE

Hasta aquí se ha expuesto los tipos de modelos y el software tanto comercial así como software libre.

Para la simulación hidráulica del sistema fluvial de Coahuila, se requiere conocer solo la elevación de la lamina de agua, así como los perfiles y las zonas donde los ríos se desbordan.





IV.7.1. Elección del modelo a utilizar

En la actualidad nos da a elegir a la hora de realizar una simulación de perfiles de la superficie del agua entre las siguientes opciones, una vez descartados los modelos bidimensionales de alta resolución ya que no es necesario el factor tiempo y para estimación de cotas de lámina de agua en caso de avenidas en las que el factor tiempo no es importante son perfectamente válidos los modelos unidimensionales.

- Modelos unidimensionales en flujo permanente
- Modelos unidimensionales en flujo no permanente

Para nuestro caso solo se requiere de un modelo unidimensional en flujo permanente ya que el factor tiempo no es muy importante, ya que solo se pretende conocer los nivel del perfil de la superficie del agua.

El software expuesto anteriormente cuenta con modelos unidimensionales ya mencionados por lo que todos los programas son capaces de hacer la modelación.

Para seleccionar el software podemos tener varios criterios. El software que mas se ha utilizado en la practica profesional, y no hay ningún inconveniente en tener incertidumbre de los resultados obtenidos a excepción de Wspro, ya que este ultimo no garantiza la certeza de los resultados.

Por otro lado el software mas utilizado a nivel mundial el Mike 11 y el Hec-Ras, han sido comprobados por muchos profesionistas y se ha demostrado que podemos confiar en el software.

La desventaja que tiene Mike 11 contra Hec-Ras, es la disponibilidad del programa, ya que el modelo de Hec-Ras se puede obtener sin ninguna restricción es gratis. Por otro lado Mike 11 así como Sobek e ISIS requieren una licencia.

El modelo HEC-RAS será el utilizado en esta tesis. A continuación se presenta la modelación del sistema fluvial de Coalcomán así como las consideración que se tuvieron al modelar, los datos requeridos por el programa Hec-Ras y los escenarios utilizados en la simulación.





V. MODELACION HIDRÁULICA DEL SISTEMA FLUVIAL

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.

V.1. CONSIDERACIONES

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 elementos del sistema fluvial de Coalcomán, el río Grande, Chiquito, Apamila y el arroyo las Animas, como se describió en el capítulo 3.

El caudal que conducen los cauces está asociados a un periodo de retorno y no incluye el gasto aportado por el sistema de alcantarillado de la localidad de Coalcomán.

V.2. INFORMACION 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 del cauce.

DATOS DE ENTRADA

Para alimentar el modelo HEC-RAS para una simulación de flujo uniforme unidimensional, se requiere un mínimo de datos.

MARCELINO DÍAZ CÁRDENAS





A continuación se presenta un listado con los datos de entrada que se necesitan para lograr hacer la simulación.

a) Características Geométricas del Canal

- Dimensiones del canal
- Forma geométrica de la sección transversal
- Dimensiones de las estructuras de control (Vertedores, puentes, etc.)

b) Características Hidráulicas

- Coeficiente de Rugosidad (Manning o Chezy)
- Caudal

c) Características Topográficas del Flujo Estudiado

- Distancias y Alturas acotadas frente a un nivel de referencia del perfil de la superficie libre en las diferentes secciones
- Distancias y Alturas acotadas frente a un nivel de referencia de la línea de fondo libre en las diferentes secciones

Lo cual ya está implícito en las coordenadas que describen la geometría de las secciones transversales.

TOPOGRAFIA

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, nivelación diferencial para liga de bancos de nivel.

a) PLANTA TOPOGRAFICA

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 13,150.03 m de poligonal de apoyo, empleando para ello una estación total. En la tabla 7 se presenta el desglose de las longitudes de las poligonales levantadas para cada uno de los ríos.





Tabla 7 Resumen de trazo de poligonales de apoyo para los ríos

COLECTOR	LONGITUD (KM)
Ríos	
Río Grande	5+000.00
Río Chiquito	4+550.03
Arroyo las Ánimas	2+000.00
Río Apamila	1+400.00
LONGITUD TOTAL	13+150.03

b) SECCIONES TRANSVERSALES

Se realizaron secciones transversales de los bordos del cauce de los ríos Grande, Chiquito, Ánimas y Apamila, a cada 50 metros, así como las secciones de los puentes existentes sobre los ríos. Las secciones transversales fueron obtenidas normales al flujo del río.

c) PERFIL LONGITUDINAL DE LOS BORDOS Y DEL CAUCE

Se obtuvieron perfiles longitudinales de la margen derecha e izquierda y la plantilla de los ríos Grande, Chiquito, Ánimas y Apamila.

También se realizó la topografía de detalle de la posible zona de inundación sobre el río Grande, a la altura de los kilometrajes 0+950 y 1+100 de la poligonal de apoyo. Aproximadamente se levantaron 8.5 Ha, realizando la correspondiente planimetría y altimetría.

Se dibujaron 101 secciones transversales para el río Grande, 90 para el río Chiquito, 41 para el río Ánimas y 29 para el río Apamila.

HIDROLOGIA

El estudio de hidrología nos permitió determinar el gasto de diseño asociado a diferentes periodos de retorno, que probablemente ocurran en el río Grande y afluentes. El objetivo de este estudio es la determinación de los gastos de diseño correspondientes a diferentes periodos de retorno de 2,10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 años para el río Grande y afluentes (Apamila, Chiquito, Animas).

De acuerdo al proceso hecho en el 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 periodo de retorno para cada uno de los ríos utilizados para la modelación.





Tabla 8 Gastos en m³/s para los diferentes periodos de retorno para cada uno de los ríos.

RÍO/(m ³ /s)	PERIODO DE RETORNO (años)			
	20	50	100	500
ANIMAS	36.979	51.184	64.404	97.581
APAMILA	65.55	219.197	216.042	322.557
CHIQUITO	23.575	104.814	135.611	206.085
GRANDE	122.639	408.296	253.913	786.617

COEFICIENTES DE RUSOCIDAD DE MANNING

Como es sabido el coeficiente de manning es una propiedad que describe la rugosidad del cauce, para determinar este coeficiente, se pude hacer de varias maneras, para este caso, se determino con la ayuda de la granulometría obtenida del estudio de geotecnia.

V.3. CALCULOS

V.3.1. MODELACION DEL SISTEMA FLUVIAL DE COALCOMAN

Lo primero que se hace, para llevar acabo la simulación con el programa Hec-Ras, se introducen los datos geométricos como se describe a continuación.

Para introducir los datos del sistema fluvial de Coalcomán en el programa HEC-RAS, se dividió el río Grande en cuatro tramos diferentes los cuales son: Coalcomán, Coalcomán 1, Coalcomán 2 y Coalcomán 3 en la siguiente figura se ilustra los puntos de unión entre los diferentes tramos del río Grande y sus afluentes.

Como lo ilustra la figura el primer tramo del río Grande (Coalcomán) se une con el río Apamila estos a su vez se une al tramo Coalcomán 1; para después este tramo se une con el río Chiquito y al tramo Coalcomán 2; después este tramo se une con el río Animas y finalmente al ultimo; con el tramo Coalcomán 3 del río Grande.

Unas vez se tiene el esquema del sistema fluvial se procede a introducir la geometría de las secciones transversales.



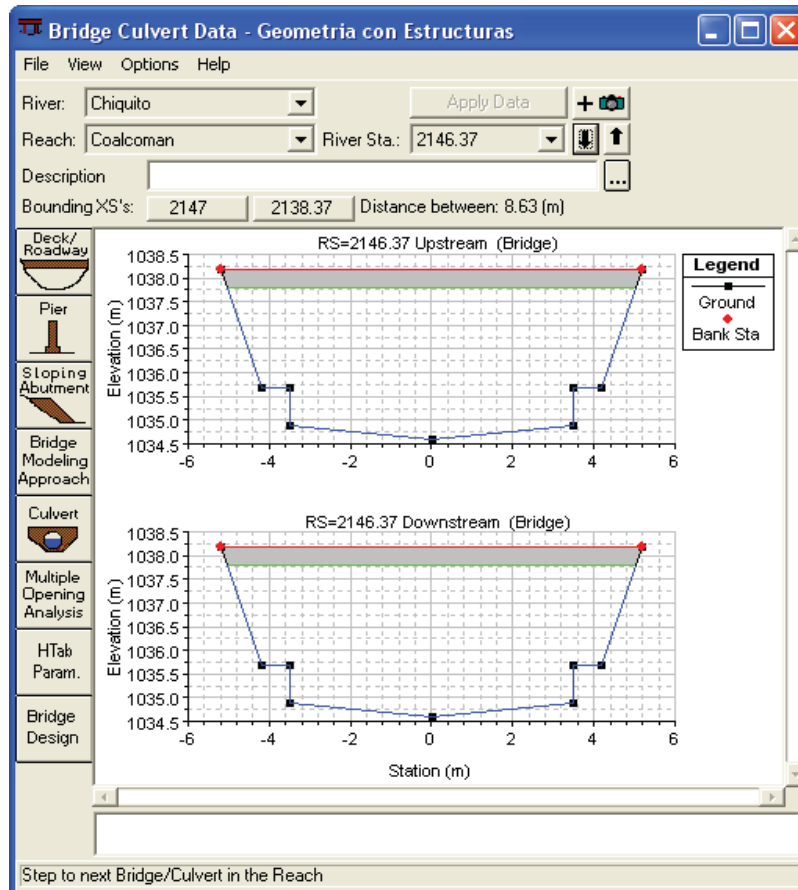


Figura 41. Editor de datos para puentes

Este editor 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.

Para establecer las condiciones de frontera, se utiliza la ventana que se ilustra en la figura mostrada abajo, 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 utilizo fue la pendiente promedio de la superficie “ Normal Depth “ con un valor de 0.0011





MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA FLUVIAL DEL MUNICIPIO DE COALCOMÁN MICHOACÁN

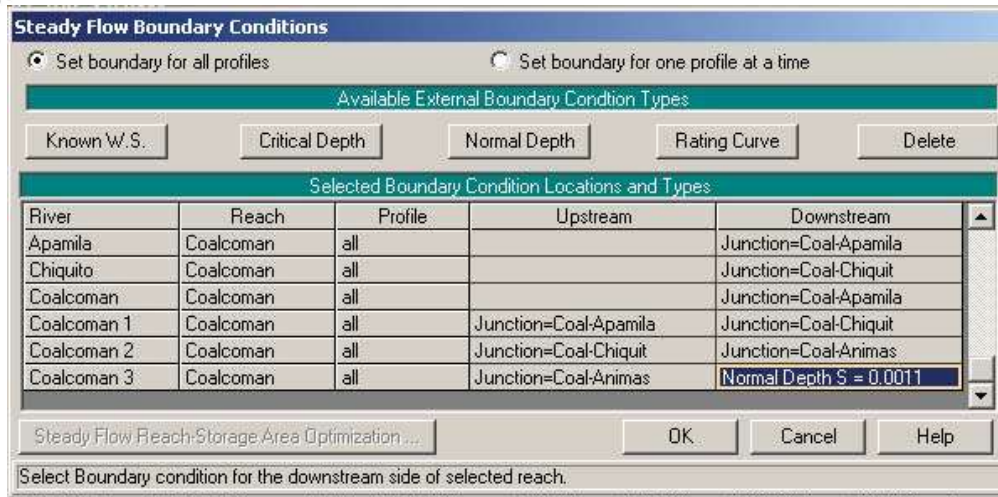


Figura 42. Entrada de condición de frontera aguas abajo

Para el caudal de cada uno de los tramos se introducen en la ventana siguiente:

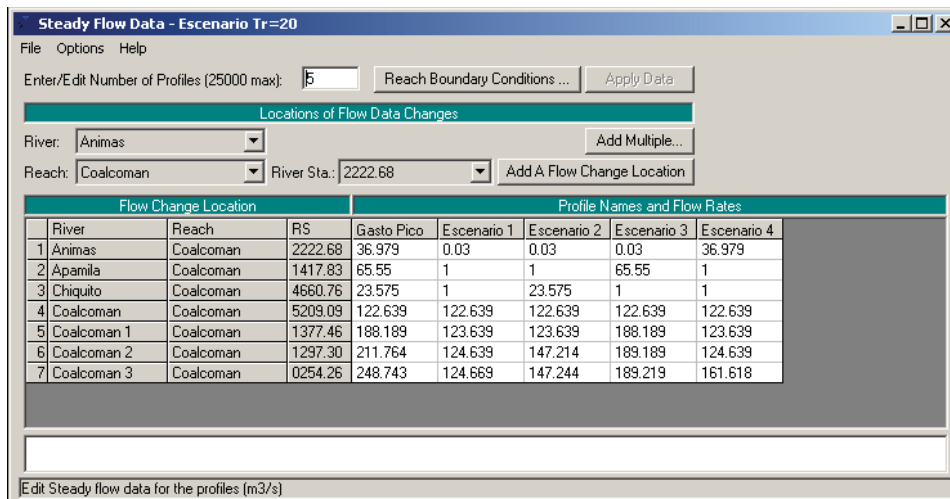


Figura 43. Entrada de caudales para cada tramo de río.

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

MODELACION PARA DIFERENTES GASTOS ASOCIADOS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

Se propusieron los siguientes escenarios para la modelación del sistema fluvial.

ESCENARIO 1.- En este escenario se plantea que en el río Grande (Coalcomán) esta entrando el gasto pico del hidrograma para un periodo de retorno de 20 años igual a $122.639\text{m}^3/\text{s}$, en el río Chiquito, Apamila y Animas se considera un gasto ordinario el cual se obtuvo del levantamiento topográfico con los niveles de la superficie de agua. En la siguiente tabla se

MARCELINO DÍAZ CÁRDENAS





muestra los gastos considerados para cada uno de los ríos según este escenario.

Tabla 9 Gastos para el escenario 1

Río	Q (m ³ /s)
Animas	0.03
Apamila	1
Chiquito	1
Coalco mán	122. 639
Coalco mán 1	123. 639
Coalco mán 2	124. 639
Coalco mán 3	124. 669

ESCENARIO 2.- En este escenario se considera que la aportación al río Grande (Coalcomán) es el mismo gasto que en el escenario 1 pero a diferencia de este, la aportación del río Chiquito cambia a un gasto pico asociado a un periodo de retorno de 20 años igual a 23.575 m³/s, en los demás afluentes el gasto permanece igual. En la siguiente tabla se presentan los gastos para esta condición.

Tabla 10 Gastos para el escenario 2

Río	Q (m ³ /s)
Animas	0.03
Apamila	1
Chiquito	23.5 75
Coalco mán	122. 639
Coalco mán 1	123. 639
Coalco mán 2	147. 214
Coalco mán 3	147. 244

ESCENARIO 3.- En este caso consideramos el mismo gasto para el río Grande (Coalcomán) de 122.639 m³/s para el periodo de retorno de 20 años, en el río Apamila se considera el gasto pico del hidrograma igual a 65.55 m³/s, de la misma manera que el caso anterior los demás afluentes conservan su gasto ordinario como se muestra en la siguiente tabla:





Tabla 11 Gastos para el escenario 3

Río	Q (m ³ /s)
Animas	0.03
Apamila	65.5
Chiquito	5
Coalco	1
mán	122.
	639
Coalco	188.
mán 1	189
Coalco	189.
mán 2	189
Coalco	189.
mán 3	219

ESCENARIO 4.- De la misma manera se conserva el mismo gasto de 122.639 m³/s para un periodo de retorno de 20 años para el río Grande (Coalcomán), y en el río Animas un gasto de 36.979 m³/s, los ríos Chiquito y Apamila tienen un gasto de 1 m³/s. los gastos están establecidos como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 12 Gastos para el escenario 4

Río	Q (m ³ /s)
Animas	39.9
Apamila	79
Chiquito	1
Coalco	1
mán	122.
	639
Coalcomán 1	123.
	639
Coalcomán 2	124.
	639
Coalcomán 3	164.
	618

Como se puede observar en los diferentes escenarios, la única variación en cada uno de estos es el gasto pico de cada uno de los afluentes al río Grande (Coalcomán), ya que el río Grande (Coalcomán) mantiene su aportación constante en los diferentes escenarios, por otro lado estos gastos son asociados a un periodo de retorno de 20 años. De la misma manera veremos los siguientes escenarios con las mismas condiciones pero diferente periodo de retorno.

ESCENARIO 5.- Este escenario modela el río Grande (Coalcomán) con un gasto pico del hidrograma de 50 años de periodo de retorno de 408.296 m³/s, y manteniendo los afluentes río Chiquito, Apamila y Animas con el gasto ordinario manejado ya anteriormente.

MARCELINO DÍAZ CÁRDENAS





ESCENARIO 6.- En este escenario se plantea que la aportación del río Grande (Coalcomán) es de 408.296 m³/s para un periodo de retorno de 50 años, el gasto del río Chiquito es de 104.814 m³/s para un periodo de retorno de 50 años, los ríos Apamila y Animas conducen un gasto de 1 m³/s y 0.03 m³/s respectivamente, esto de acuerdo a datos de campo.

ESCENARIO 7.- El río Grande (Coalcomán) mantiene su gasto igual a 408.296 m³/s para un periodo de retorno de 50 años, el río Chiquito mantiene un gasto de 1 m³/s, río Animas un gasto de 1 m³/s como gasto ordinario y por ultimo el río Apamila con un gasto de 219.197 m³/s para un periodo de retorno de 50 años.

ESCENARIO 8.- En este escenario el río Animas conduce un gasto de 51.189 m³/s para un periodo de retorno de 50 años, el río Grande (Coalcomán) un gasto de 408.296 m³/s para un periodo de retorno de 50 años, el río Apamila y Chiquito aportan un gasto de 1 m³/s cada uno.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los gastos según el escenario.

Tabla 13 Gastos en m³/s asociados a un Tr = 50 años, para los diferentes.

Río	Escenario 5	Escenario 6	Escenario 7	Escenario 8
Animas	0.03	0.03	0.03	51.189
Apamila	1	1	219.197	1
Chiquito	1	104.814	1	1
Coalcomán	408.296	408.296	408.296	408.296
Coalcomán 1	409.296	409.296	627.493	409.296
Coalcomán 2	410.296	514.11	628.493	410.296
Coalcomán 3	410.326	514.14	628.523	461.485

De igual manera se describirán los siguientes escenarios para un periodo de retorno de 100 años.

ESCENARIO 9.- En este escenario se plantea un gasto de 523.913 m³/s para un periodo de retorno de 100 años en el río Grande (Coalcomán), y un gasto para el río Chiquito de 1 m³/s así también para el río Apamila, en el río Animas se plantea un gasto de 0.03 m³/s.

ESCENARIO 10.- En este escenario se modelo el sistema con un gasto de 135.611 m³/s para el río Chiquito, la aportación del río Grande (Coalcomán) es de 523.913 m³/s, 1 m³/s para el río Apamila y 0.03 m³/s para el río Animas.

ESCENARIO 11.- En este caso el río Apamila conduce un gasto de 216.042 m³/s para un periodo de retorno de 100 años, en el caso del río Grande (Coalcomán) se conduce nuevamente el gasto de 523.913 m³/s para un





**MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA FLUVIAL DEL MUNICIPIO DE
COALCOMÁN MICHOACÁN**

periodo de retorno de 100 años, y para el río Chiquito y Animas un gasto de 1 m³/s y 0.03 m³/s respectivamente.

ESCENARIO 12.- En este escenario el río Animas conduce un gasto de 65.404 m³/s se plantearon los mismos gasto para el río Grande (Coalcomán) con un gasto de 523.913 m³/s y un gasto de 1 m³/s para el río Apamila y río Chiquito para cada uno.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de estos escenarios para el periodo de retorno de 100 años.

Tabla 14 Gastos en m³/s asociados a un Tr = 100 años, para los diferentes.

Río	Escenario 9	Escenario 10	Escenario 11	Escenario 12
Animas	0.03	0.03	0.03	65.404
Apamila	1	1	216.042	1
Chiquito	1	135.611	1	1
Coalcomán	523.913	523.913	523.913	523.913
Coalcomán 1	524.913	524.913	739.955	524.913
Coalcomán 2	525.913	660.524	740.955	525.913
Coalcomán 3	525.943	660.554	740.985	591.317

ESCENARIO 13.- Se plantea el siguiente gasto de 786.617 m³/s para el río Grande, este gasto esta asociado a un periodo de retorno de 500 años, para el río Chiquito y río Apamila tiene una aportación de 1 m³/s para cada uno de estos, para el caso de el río Animas se plantea un gasto de 0.03 m³/s que como ya se dijo son los gastos ordinarios para cada unos de los afluentes en condiciones normales.

ESCENARIO 14.- En este escenario se modelo el sistema fluvial con un gasto de 206.085 m³/s para un periodo de retorno de 500 años en el río Chiquito, y para el río Grande un gasto de 786.617 m³/s asociado a un periodo de retorno de 500 años. Para el río Apamila se aplico un gasto de 1 m³/s y para el río Animas un gasto de 0.03 m³/s.

ESCENARIO 15.- En este escenario el río Apamila se modelo con un gasto de 322.559 m³/s, para el río Grande mantiene el mismo gasto asociado a un periodo de retorno de 500 años, así como para el río Animas y río Chiquito un gasto de 0.03 m³/s y 1 m³/s respectivamente.

ESCENARIO 16.- En este escenario se modela el río Grande con un gasto de 786.617 m³/s para un periodo de retorno de 500 años, y para el río Animas un gasto de 97.581 m³/s, el río Apamila aporta 1 m³/s así como el río Chiquito.

En la siguiente tabla se presentan los gastos utilizados para cada una de los escenarios:





Tabla 15 Gastos en m³/s asociados a un Tr = 500 años, para los diferentes.

Rio	Escenario 13	Escenario 14	Escenario 15	Escenario 16
Animas	0.03	0.03	0.03	97.581
Apamila	1	1	322.559	1
Chiquito	1	206.085	1	1
Coalcomán	786.617	786.617	786.617	786.617
Coalcomán 1	787.617	787.617	1109.176	787.617
Coalcomán 2	788.617	993.702	1110.176	788.617
Coalcomán 3	788.647	993.732	1110.206	886.198

MODELACIÓN EN CONDICIONES NATURALES

El objetivo de la modelación en condiciones naturales, es saber que gasto puede conducir el sistema fluvial de Coalcomán sin presentar desbordamiento.

Lo primero que se hizo fue proponer diferentes gastos para cada uno de los ríos y haciendo varias corridas en el modelo (prueba y error), se obtuvieron los gastos que se pueden conducir sin presentar desbordamiento en el rio Grande así como en sus afluentes.

El modelo es el mismo que se utilizo para los diferentes escenarios y los diferentes periodos de retorno, la diferencia aquí son los gastos que el sistema puede conducir.

CALIBRACION DEL MODELO

La calibración del modelo se desarrollo con la información de niveles de superficie del agua que se midió cuando se hizo el estudio topográfico. Por otro lado la granulometría del río nos ayudo a tener valores de la rugosidad cercanos a la realidad y con esto se propusieron nuevos valores al coeficiente de rugosidad de manning. Con estos valores y los resultados obtenidos para la superficie libre del agua, se verificaron las elevaciones de la superficie calculada con la superficie levantada en campo u observadas.

Continuación se presenta un grafico el cual compara ambas elevaciones.



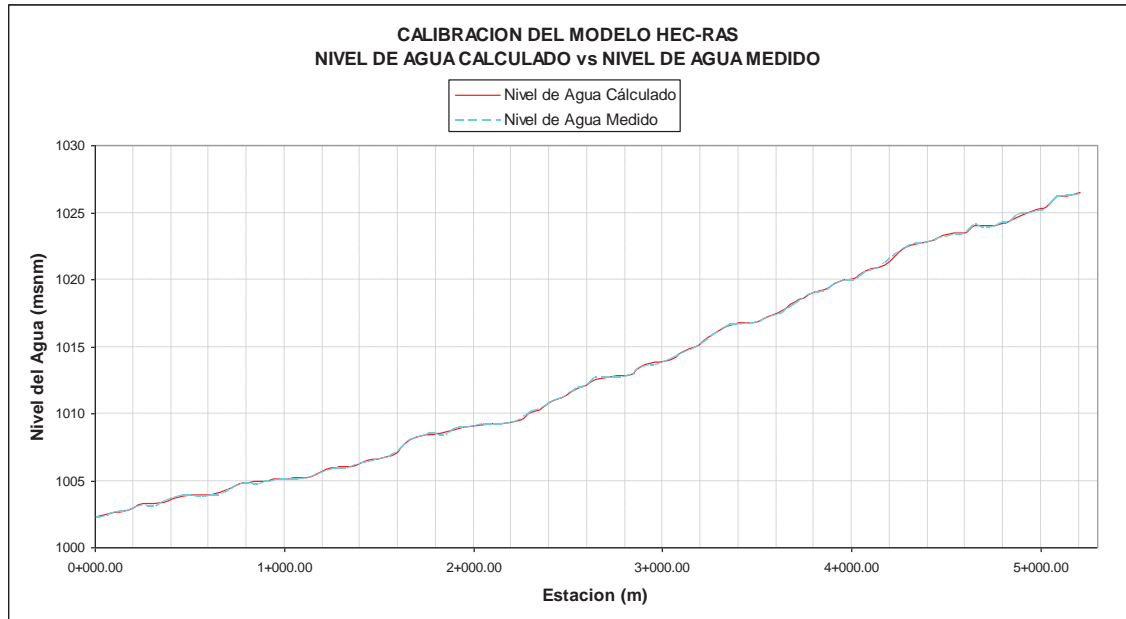


Figura 44. Calibración del modelo.

Se puede observar que la superficie medida en campo ajusta bien a la superficie del agua calculada.

V.4. RESULTADOS

Una vez hechas cada una de las modelaciones para los diferentes escenarios, se procede a analizar los resultados. A continuación se presenta cada una de las tablas de los resultados para cada uno de los ríos y sus diferentes escenarios.

- A) Los siguientes resultados se dan para los gastos asociados a un periodo de retorno de 20 años, para cada uno de los ríos y nos indican el cadenamiento del desbordamiento del río.

Río Ánimas
Tr = 20 años

Tabla 16 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenamiento modelación)
1	0+000-0+098.35
2	0+000-0+098.35
3	0+000-0+098.35
4	0+000-0+356.81, 0+660.84-1+133.57, 1+169-2+222.68

Como se puede observar en la tabla 26 en los primeros escenario el río se comporta de la misma manera, presentando desbordamiento solo hasta la estación 0+098.35 de río, esto es debido a que la aportación que tiene el río en





este escenario es el mismo. En el escenario 4 a diferencia de los tres primeros, este presenta desbordamiento en tres tramos primero desde la estación de inicio hacia aguas arriba hasta 0+356.81, el segundo tramo se presenta desde 0+660.84 hasta 1+133.57 y el tercer desbordamiento inicia desde 1+169 hasta 2+222.68.

Río Apamila
Tr = 20 años

Tabla 17 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenaiento modelación)
1	0+000-0+054.65
2	0+000-0+161.66
3	0+000-0+0+243.60, 0+598.76-0+646.77, 0+935.93-0+985.05
4	0+000-0+054.65

En el río Chiquito presenta desbordamiento en diferentes partes del río, a diferencia de los resultados anteriores la zona de desbordamiento varia a pesar de que en el escenario 1,3 y 4 conduce los mismos gastos. En su caso el escenario presenta mayor zonas de desbordamiento ya que como se indico en el escenario 2 que el río Chiquito mantiene su gasto pico.

Roí Chiquito
Tr = 20 años

Tabla 18 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenaiento modelación)
1	NO SE INUNDA NINGUN TRAMO
2	0+949.50-1+601.6, 1+123.96-1+149.83, 1+201.07-1+226.40, 1+406.07-1424.32, 1+457.79- 1+624.98, 1+737.58-1+752.79, 1+865.6-1+886.98, 1+903-1+9010, 2+065.48-2+091.48, 2+165.91- 2+241.92, 2+165.91-2+543.71, 2+730.53-3+727.28
3	NO SE INUNDA NINGUN TRAMO
4	NO SE INUNDA NINGUN TRAMO





Río Grande (Coalcomán)
Tr = 20 años

Tabla 19 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenaiento modelación)
1	0+000-0+204.86, 4+070.92-4+141.12, 4+801.59-5+209.09
2	0+000-0+204.86, 0+412.09-462.88, 1435.51- 1+540.63, 4+070.92-4+141.12, 4+801.59-5+209.09
3	0+000-0+204.86, 0+412.09-0+462.88, 0+921.13-0+971.23, 1'435.51-1+590.62, 4+070.92- 4+141.12, 4+801.59-5+209.09
4	0+000-0+204.86, 0+412.09-0+462.88, 4+801.59-5+209.09

B) En los siguientes resultados, se muestran los escenarios para un periodo de retorno de 50 años y para cada uno de los ríos.

Río Ánimas
Tr = 50 años

Tabla 20 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenaiento modelación)
5	0+000-0+148.80
6	0+000-0+204.92
7	0+000-0+256.76
8	0+000-0+437.30, 0+660.84-2+222.68

Río Apamila
Tr = 50 años

Tabla 21 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenaiento modelación)
5	0+000-0+492.33
6	0+000-0+646.77
7	0+000-1+040.17
8	0+000-0+492.33





Río Chiquito
Tr = 50 años

Tabla 22 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenaiento modelación)
5	
6	0+000-3+900.75
7	0+000-0+293.54
8	0+000-0+095.12, 0+293.54-0+325.31

Río Grande (Coalcomán)
Tr = 50 años

Tabla 23 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenaiento modelación)
5	0+000-2+647.41, 3+656.43-5+209.09
6	0+000-2+647.41, 3+656.43-5+209.09
7	0+000-2+647.41, 3+653.43-5+209.09
8	0+000-2+647.41, 3+656.43-5+209.09

C) Ahora se presentan para el resto de periodos de retorno que son de 100 y 500 años.

Río Ánimas
Tr = 100 años

Tabla 24 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenaiento modelación)
9	0+000-0+117.61
10	0+000-0+148.80
11	0+000-0+148.80
12	0+000-0+437.30, 0+620-2+222.68

Río Apamila
Tr = 100 años

Tabla 25 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenaiento modelación)
9	0+000-0+339.26
10	0+000-0+492.32
11	0+000-1+040.17
12	0+000-0+339.26





Río Chiquito
Tr = 100 años

Tabla 26 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenaiento modelación)
9	
10	0+000-4+158.90
11	0+000-0+293.54
12	

Río Grande (Coalcomán)
Tr = 100 años

Tabla 27 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenaiento modelación)
9	0+000-1+274.27, 1+435.51-2+396.65, 3+957.41-5+209.09
10	0+000-2+396.65, 3+957.41-5+209.09
11	0+000-2+396.65, 3+157.41-5+209.09
12	0+000-1+274.27, 1+435.51-2+396.65, 3+957.41-5+209.09

D) Tramos de inundación, que se presentan para cuando el gasto esta asociado a un periodos de retorno de 500 años y para los diferentes ríos.

Río Ánimas
Tr = 500 años

Tabla 28 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenaiento modelación)
13	0+000-0+367.14
14	0+000-0+356.81
15	0+000-0+356.81
16	0+000-0+437.30, 0+620-2+222.68





Río Apamila
Tr = 500 años

Tabla 29 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenaiento modelación)
13	0+000-0+748.84
14	0+000-0+935.93
15	0+000-1+366.38
16	0+000-0+748.38

Río Chiquito
Tr = 500 años

Tabla 30 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenaiento modelación)
13	0+000-0+355.03
14	0+000-4+158.90
15	0+000-0+459
16	0+000-0+355.03

Río Grande (Coalcomán)
Tr = 500 años

Tabla 31 Tramos que se inundan para cada escenario

Escenario	Tramo Inundables (cadenaiento modelación)
13	0+000-5+209.09
14	0+000-5+209.09
15	0+000-5+209.10
16	0+000-5+209.09

En esta parte se presentan los resultados de la modelación con los gastos que puede conducir el sistema sin presentar desbordamiento.

Los gastos que pueden conducir cada uno de los ríos son los siguientes:

Tabla 32 Gastos Formativos

Río	Q (m ³ /s)
Animas	0.4
Apamila	20
Chiquito	10
Coalcomán	72.4





VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el caso de los afluentes, es posible conducir un gasto mayor, por ejemplo en el caso del río Apamila, puede conducir un gasto de hasta 40 m³/s pero si el río condujera este gasto provocaría desbordamiento aguas abajo del río Grande (Coalcomán), entonces lo máximo que puede conducir para no ocasionar desbordamiento aguas abajo del río Grande (Coalcomán) es de 20 m³/s como lo muestra la tabla 25.

En el río Chiquito el gasto máximo que puede conducir es de 10 m³/s como lo muestra la tabla 42, si condujera un gasto mayor presentaría desbordamiento en el mismo río Chiquito y en aguas abajo en el río Grande (Coalcomán), tal es el caso del río Animas que también presenta las mismas condiciones que el río Grande (Coalcomán), teniendo solo capacidad para conducir un gasto de 0.4 m³/s.

En el río Grande (Coalcomán) solo se puede conducir un gasto máximo de 72.4 m³/s el cual rige a los gastos de todos los afluentes, ya que estos no pueden proporcionar mayor gasto al que se presenta en la tabla 42; por ejemplo el río Apamila puede conducir un gasto mayor al de 20 m³/s sin desbordar, pero de acuerdo a la ecuación de la continuidad, el gasto que entra tiene que salir, resultando así un gasto superior a los 72.4 m³/s, implicando así el desbordamiento en el río Grande (Coalcomán).

Enseguida se presentan las secciones transversales críticas de cada uno de los ríos, estas secciones fueron las que decidieron el caudal máximo del cauce ya que su área hidráulica no es capaz de conducir un gasto mayor.

Para el río Animas tenemos la siguiente sección:

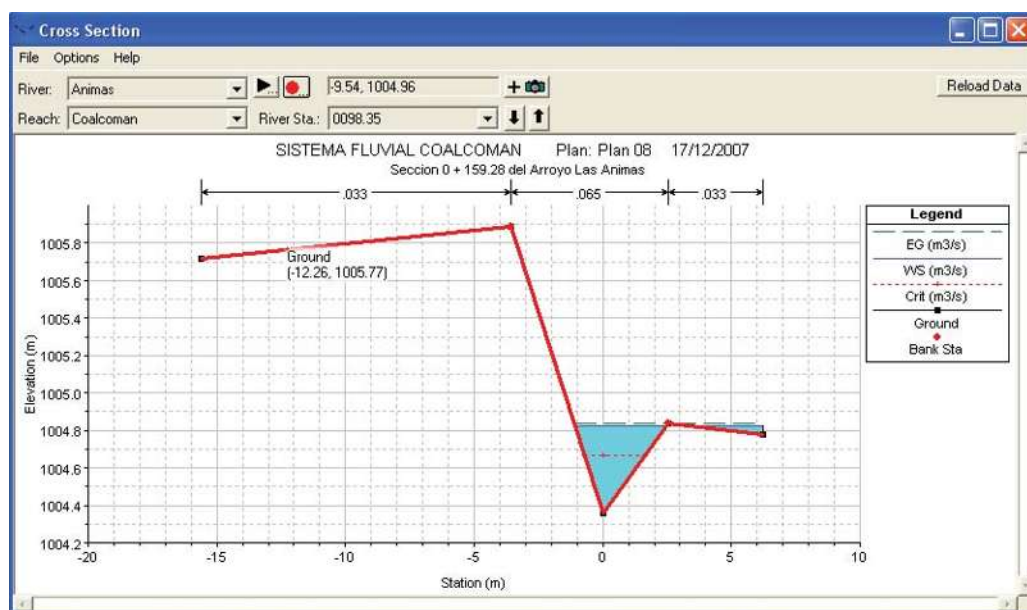


Figura 45. Sección crítica en el río Animas, en la estación 0+098.35
MARCELINO DÍAZ CÁRDENAS





Como se puede observar en la figura arriba si el caudal fuera mayor a 0.4 m³/s el nivel del agua sobrepasa el bordo izquierdo del río viendo esta sección aguas abajo, esta sección esta ubicada en la estación 0+098.35 del río Animas.

En le río Chiquito la sección que esta a punto del desbordamiento es la sección que se encuentra en el cadenamamiento 0+293.54 del río Chiquito; como lo ilustra la figura 6, la sección esta a punto de desbordar. Por otro lado las secciones hidráulicas de los puentes sobre el río Chiquito, son capaces de conducir un gasto de 20 m³/s.

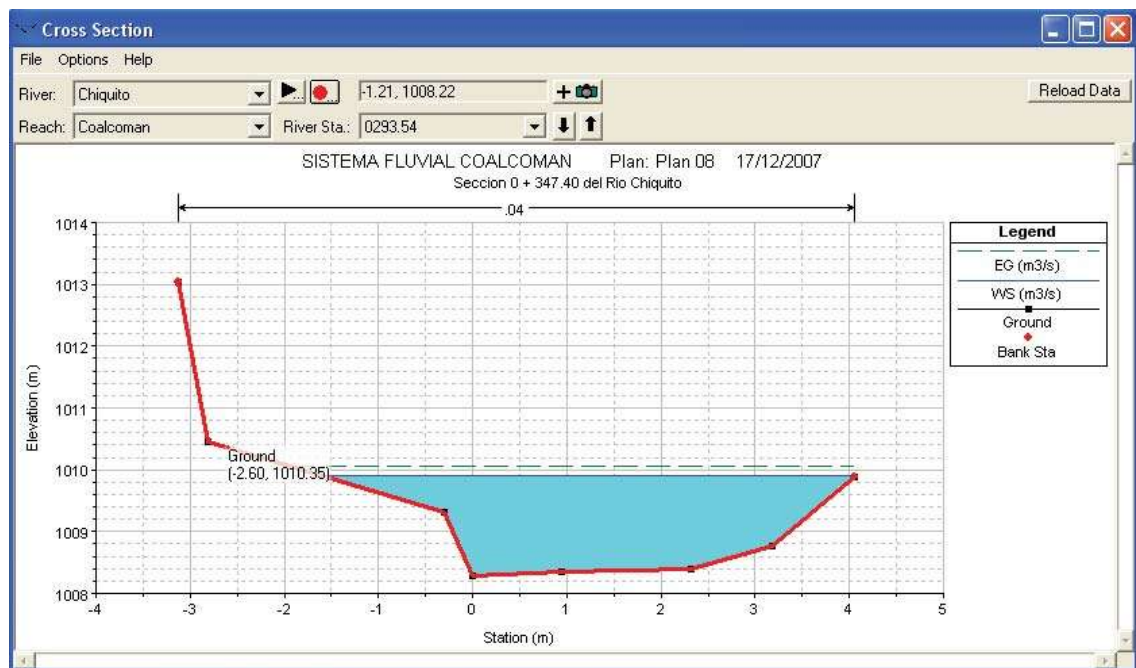


Figura 46. Sección crítica en el río Chiquito, en la estación 0+293.54

El río Apamila como ya se dijo puede conducir un gasto de hasta 40 m³/s pero como esto incrementaría el caudal del río Grande (Coalcomán) este se desbordaría.





MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA FLUVIAL DEL MUNICIPIO DE COALCOMÁN MICHOACÁN

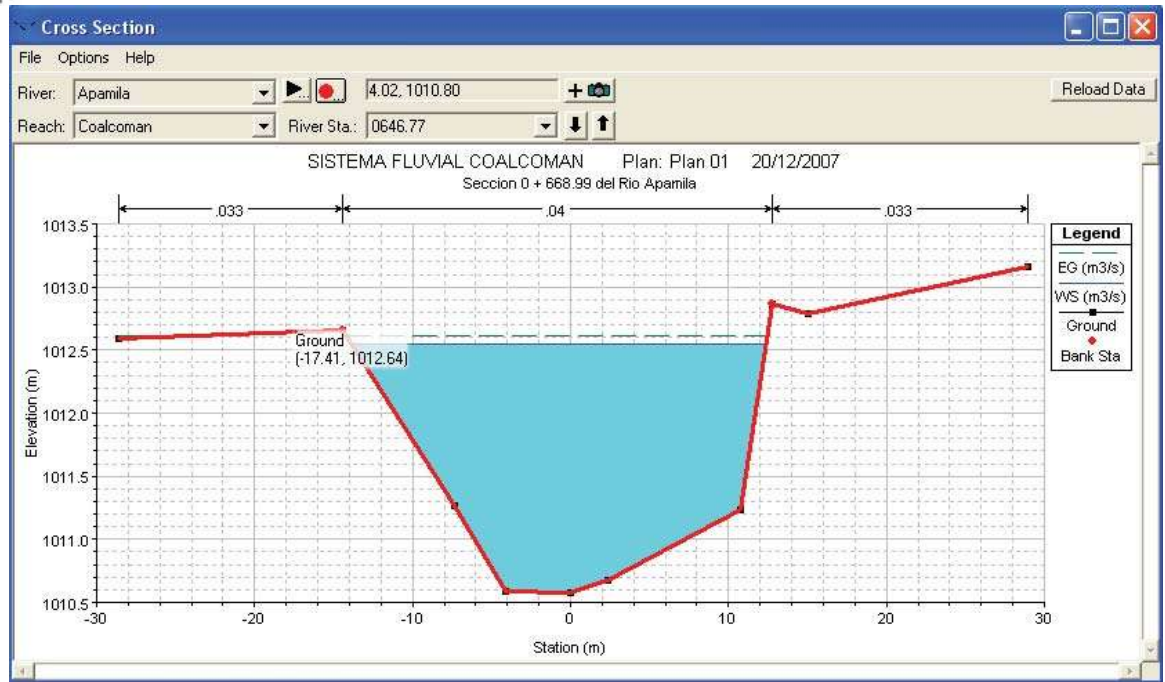


Figura 47. Sección río Apamila, en la estación 0+646.77

La figura muestra la sección del río Apamila en la estación 0+646.77 con un gasto de 40 m³/s, pero a la salida del río Grande (Coalcomán) se desborda una de las secciones del río Grande (Coalcomán). Se presentan secciones del río Grande aguas abajo del Apamila con desbordamiento como sigue:

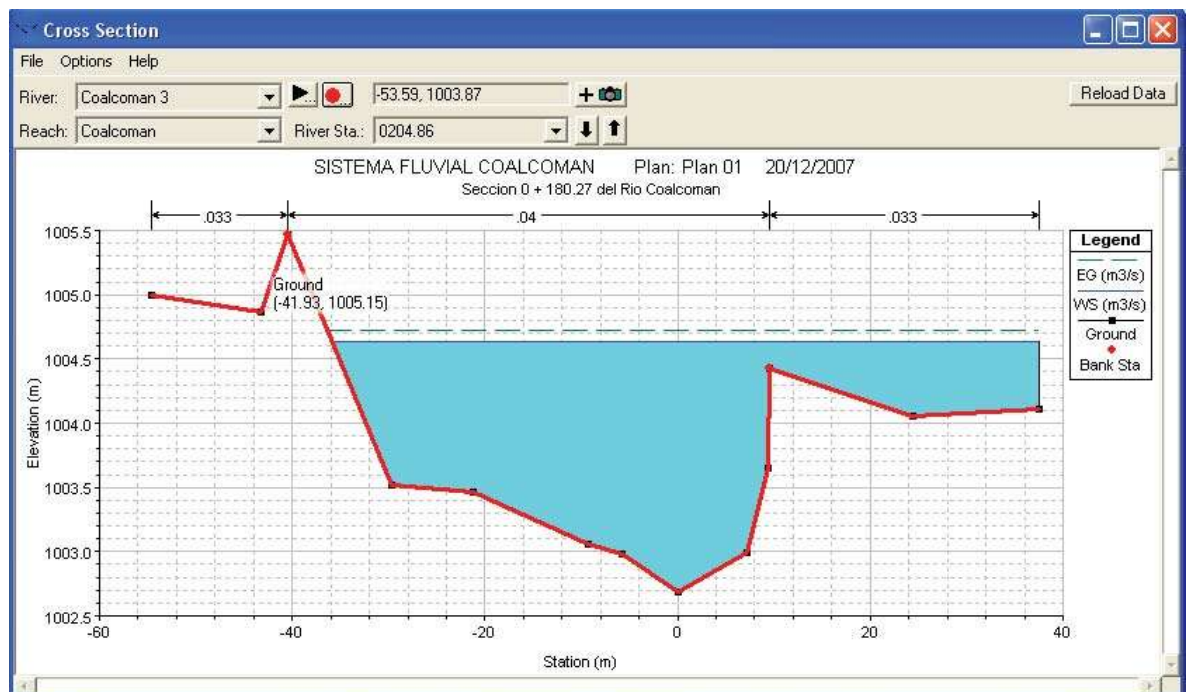


Figura 48. Esta sección se ubica en la estación 0+204.86 del río Grande





Otras de las secciones que presenta desbordamiento en el río Grande es la sección con cadenamamiento 0+102.36 como se observa la siguiente figura:

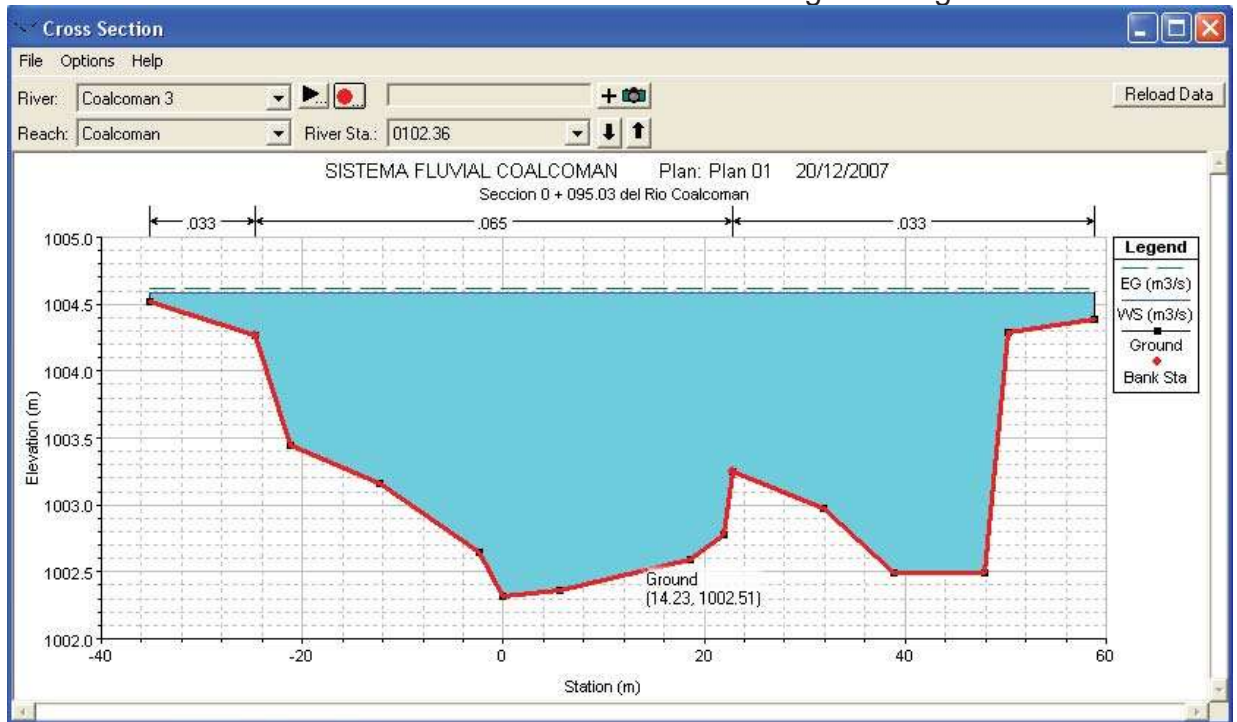


Figura 49. Esta sección se ubica en la estación 0+102.36 del río Grande

El río Grande (Coalcomán) tiene un gasto formativo igual a 72.4 m³/s y la sección crítica que presenta desbordamiento se encuentra en la estación 0+204.86 como se muestra en la figura:





MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA FLUVIAL DEL MUNICIPIO DE COALCOMÁN MICHOACÁN

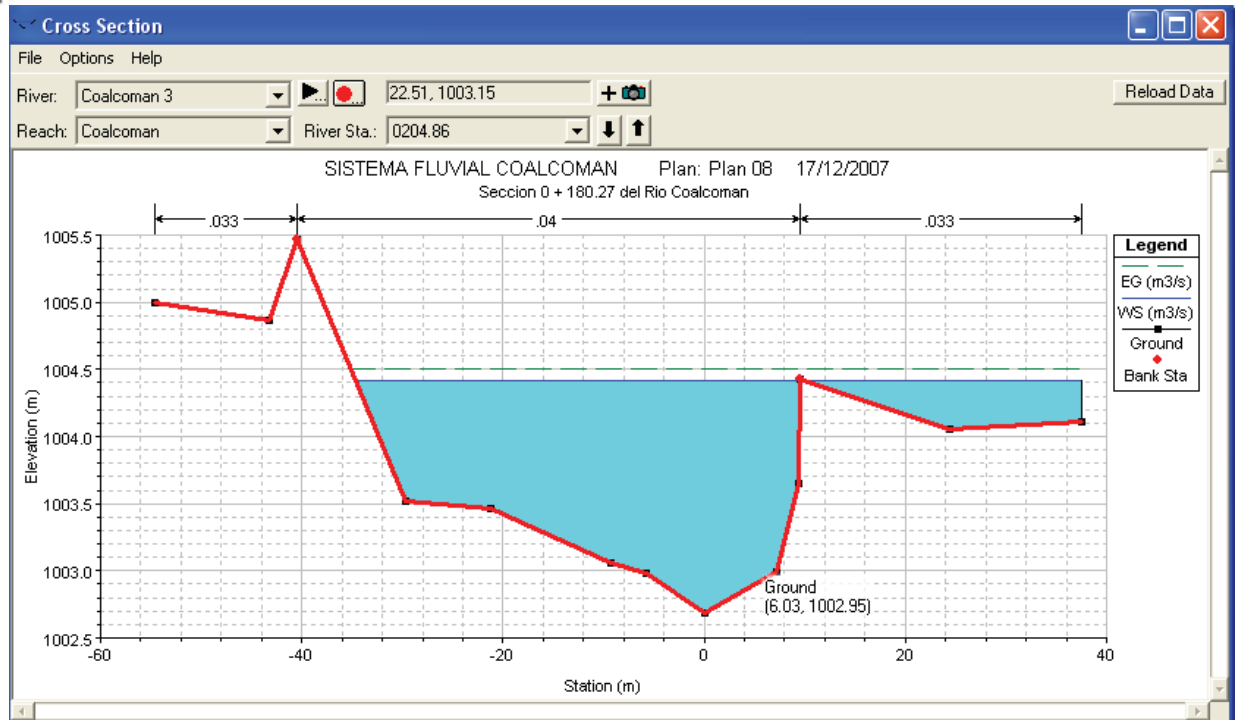


Figura 50. Esta sección se ubica en la estación 0+102.36 del río Grande

De lo expuesto antes se concluye que se necesitaran obras de protección principalmente en el río chiquito y en el rio grande, esto para controlar las grandes avenidas. Evitando así el desbordamiento e inundación de las zonas aledañas.





VII. BIBLIOGRAFIA

Ven Te Chow, 1959, Hidraulica de Canales Abiertos, Ed. Mc. Grow Hill

<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/MICHOACAN/Municipios/Coalcoman/CoalcomanPlan01.pdf>

http://www.cenapred.unam.mx/es/Transparencia/FAQ/SISI/Anexo8.2/04_21_DIRH_25112004.pdf

<http://hercules.cedex.es/IngSis/mike-11.htm>

<http://mathmodelling.googlepages.com/MANUALDELUSUARIOMIKE11.pdf>

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

<http://www.wallingfordsoftware.com/products/isis/>

<http://www.halcrow.com/isis/isisprofessional-flowsolvers.asp>

<http://delftsoftware.wldelft.nl/>

<http://water.usgs.gov/software/WSPRO/>

