UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

“METODOLOGIA PARA LA DETERMINACION DE MAPAS DE RIESGO DE INUNDACION”

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

ALEJANDRO GARCIA CONCHA

ASESOR:

DR. EN INGENIERIA CIVIL CONSTANTINO DOMINGUEZ SANCHEZ

TESIS APOYADA POR EL CONSEJO ESTATAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN DEL ESTADO DE MICHOACÁN”.

MORELIA, MICH, JULIO 2013

INDICE

1. INTRODUCCION 7

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 7

1.2. OBJETIVO 8

1.2.1. OBJETIVO GENERAL 8

1.2.2. OBJETIVO ESPECIFICO 8

1.3. DEINICION DE TERMINOS Y CONCEPTOS. 9

1.3.1. TIPOS DE FLUJO 9

1.3.2. CUENCA 9

1.3.3. RÍO 10

1.3.4. CAUDAL DEL UN RÍO 10

1.3.5. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS 11

2. ANTECEDENTES 12

2.1. ANTECEDENTES DE INUNDACIONES 12

2.2. CAUSAS DE LA INUNDACIÓNES 13

2.3. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN DONDE SE APLICA LA METODOLOGIA 14

2.4. ANTECEDENTES HISTÓRICOS EN CIUDAD DE SALAMANCA GTO 15

2.5. ANTECEDENTES DE LA METODOLOGIA PARA ELABORACIÓN DE MAPAS DE INUNDACION 16

2.5.1. MÉTODOS HISTÓRICOS 16

2.5.2. MÉTODOS PALEO-HIDROLÓGICOS 16

2.5.3. MÉTODOS HIDROLÓGICO - HIDRÁULICOS 17

2.5.4. MÉTODOS GEOLÓGICO – GEOMORFOLÓGICOS 18

3. METODOLOGIA DE DETERMINACION ZONA DE RIESGO....20

3.1. BASES PARA REALIZAR LA METODOLOGIA DE INUNDACION 20

3.2. ESQUEMA DE MODELACION 21

3.3. DATOS PARA LA ELABORACION DE LA METODOLOGÍA 22

3.3.1. DATOS HIDROLOGICOS. 22

3.3.2. DATOS FISICOS Y GEOMETRICOS 24

3.4. PROCESO PARA OBTENER LA GEOMETRIA DE LA ZONA DE ESTUDIO. 27

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

3.5. MODELACIÓN HIDRÁULICA 28
3.5.1. Datos De Entrada Para HEC-RAS 28
3.5.2. Modelación En HEC-RAS 29
3.5.3. Exportar Archivos Generados 31
3.6. MODELACION DE LA SUPERFICIE DE INUDNACIÓN 32
3.6.1. Proceso Para Obtener La Superficie De Inundación 32
3.7. OBTENCION DE LOS MAPAS DE INUNDACIÓN (CARTOGRAFIA DE INUNDACIÓN) 33
4. HERRAMIENTAS INFORMATICAS 34
4.1. OBJETIVO DE UTILIZAR HERRAMIENTAS INFORMATICAS 34
4.2. HERRAMIENTAS INFORMATICAS 34
4.2.1 Arc View 3.2 34
4.2.2. Arc GIS 35
4.2.3. Auto CAD 35
4.2.4. HEC-RAS 35
4.2.5. HEC-GeoRAS 35
4.2.6. MIKE FLOOD 36
5. APLICACIÓN METODOLOGICA EN ZONA DE ESTUDIO 37
5.1. CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO 37
5.2. OBJETIVO PARA LA ZONA EN ESTUDIO 37
5.2.1 Objetivo General 37
5.2.2. Objetivo Especifico 37
5.3. DATOS HIDROLOGICOS DE LA ZONA ENESTUDIO 38
5.3.1. Datos Recientes 38
5.3.2. Datos Hidrométricos 38
5.4. DATOS FISICOS Y GEOMETRICOS DE LA ZONA EN ESTUDIO 39
5.4.1. Topografía 39
5.4.1.1. Planta Topográfica 40
5.4.2. Coeficiente De Rugosidad Manning 41
5.5. OBTENCION DE LA GEOMTRIA DE LA ZONA DE ESTUDIO 42
5.5.1. Generación De Datos De Entrada Para HEC-RAS 42

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

5.6. MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL RIO LERMA 44
5.6.1. Calibración Del Modelo 47
5.6.2. Resultados De La Modelación 50
5.6.3. Generar Datos Para Exportar 54
5.7. MODELACION DE LA SUPERFICIE DE INUNDACION EN Arc View 55
6. ANALISIS Y RESULTADOS 57
6.1. ANÁLISIS GENRAL 57
6.2. ANÁLISIS Y RESULTADOS PARTICULARES DE LOS ESCENARIOS MODELADOS 57
6.2.1. Escenario 1 Gasto de 1100 m^3/s 58
6.2.2. Escenario 2 Gasto de 713 m^3/s 62
6.2.3. Escenario 3 Gasto de 510 m^3/s 65
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 68
7.1. CONCLUSIONES 68
7.2. RECOMENDACIONES 70
8. REFERENCIAS 72

INDICE DE IMÁGENES

Fig. 1 Localización de la Zona de Aplicación de la Metodología 15
Fig. 2 Esquema de Metodología para la Modelación 21
Fig. 3 Valores de Coeficientes de Manning 26
Fig. 4 Caratula Principal de Programa HEC-RAS 30
Fig. 5 Ventana Para Exportar la Información de HEC-RAS 31
Fig. 6 Presentación De Un Mapa De Inundación 33
Fig. 7 Gasto del Proyecto Realizado por CNA 38
Fig. 8 Grafica de Gastos Máximos de La Estación Hidrométrica Salamanca II 39
Fig. 9 Modelo Digital de Terreno Zona de Estudio 40
Fig. 10 Fotografía del Rio Lerma en Visita de Campo 41
Fig. 11 Sección Del Rio Lerma en HEC-RAS 42
Fig. 12 Planta Del Rio Lerma en HEC_RAS 43
Fig. 13 Editor Para las Secciones en HEC-RAS 45
Fig. 14 Ventanas Para la Edición de Puentes en HEC-RAS 46
Fig. 15 Editor Para Introducir Las Condiciones de Frontera y Datos de Flujo 47
Fig. 16 Calibración del Modelo 48
Fig. 17 Nivel de Agua en las Secciones Transversales para el Gasto de 1100 m^3/s 50
Fig. 18 Nivel del Agua Respecto a Puentes con un Gasto de 1100m^3/s 51
Fig. 19 Nivel de Agua en las Secciones Transversales para el Gasto de 713 m^3/s 52
Fig. 20 Nivel del Agua Respecto a Puentes con un Gasto de 713 m^3/s 52
Fig. 21 Nivel de Agua en las Secciones Transversales para el Gasto de 510 m^3/s 53
Fig. 22 Nivel del Agua Respecto a Puentes con un Gasto de 510 m^3/s 54
Fig. 23 Ventana Para Exportar de HEC-RAS en Formato GIS 55
Fig. *1 Mapa de Peligro de Inundación para un Gasto de 1100 m^3/s* 60
Fig. 25 *Mapa de Altura de Lamina de agua para un Gasto de 1100 m^3/s* 61
Fig. 26 *Mapa de Peligrocidad de inundacion para un Gasto de 713 m^3/s* 63

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

Fig. 27 *Mapa de Altura de Lamina de agua para un Gasto de 713 m^3/s*..... 64

Fig. 28 *Mapa de Peligrocidad de inundacion para un Gasto de 510 m^3/s*..... 66

Fig. 29 *Mapa de Altura de Lamina de agua para un Gasto de 713 m^3/s*..... 67

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCION

Los mapas de riesgo de inundación son herramientas que pueden ser utilizadas para la prevención y/o mitigación de desastres naturales, ayudando con el control de pérdidas económicas incalculables, pero sobretodo pérdida de vidas humanas, son algunos de los factores que crea la necesidad de contar con cartografía de inundaciones en las regiones con mayor ocurrencia de estos desastres naturales.

Los mapas cartográficos de inundaciones o también llamados mapas de inundaciones en zonas vulnerables, son solo herramientas que ayudan a prevenir e incluso a corregir daños por estos fenómenos, dando un paso delante de a la seguridad de los ciudadanos ante estos fenómenos.

La implementación de una cartografía de inundación en las regiones con severos problemas a causa de estos fenómenos físicos, es de vital importancia, por que ayudan a tener un control más preciso de los daños probables que puedan se ocasionado por estos femémonos, así como la evacuación temprana de las zonas evitando daños mayores.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desarrollar una metodóloga para la terminación de cartografía de inundación de una zona en estudio en particular, que sea capaz de determinar las zonas más vulnerables y las zonas más afectadas proporcionándole una clasificación o zonificación de acuerdo a su riesgo o daños que se puedan presentar de acuerdo a la altura de la lámina de agua cuando se presente la inundación.

Para el desarrollo de la metodología se toma como partida las metodologías existentes, utilizando la información como apoyo en su desarrollo y para la

determinación de cual metodología es la que más se apega a las condiciones físicas y de información, con las que se cuenta para su desarrollo y su debida ejecución una vez desarrollada la metodología.

Conocer las condiciones de la zona en estudio donde se aplicara la metodología desarrollada, así como si la zona cuenta con toda la información requerida para su ejecución, y desarrollo de la metodología y obtener los resultados necesarios para determinar una análisis del problema y una posible solución a los efecto provocados por las inundaciones, así como recomendaciones y unas conclusiones del problema.

1.2. OBJETIVO

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Mediante las metodologías ya existentes determinar mejorar o determinar una metodología para la determinación de cartografía de inundación, adecuándola a las zonas y las condiciones que se tiene en el país, y que permita modelar las condiciones de una zona cuando se presenta una avenida extrema por un cauce natural y que en él se presenten desbordamientos.

1.2.2. OBJETIVO ESPECIFICO

- Contar con la metodología para el desarrollo de la cartografía de inundación, contando con las condiciones adecuadas para las zonas en estudio probables en el país.

- Aplicar la metodología a una zona en particular, para determinar su eficiencia y sus resultados son adecuados y confiables.
- De la zona de estudio hacer una zonificación o clasificación, que dependa del área afectada y las alturas alcanzadas por la inundación.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

1.3. DEINICION DE TERMINOS Y CONCEPTOS.

Para el presente trabajo es necesario manejar algunos conceptos básicos de hidráulica de canales abiertos, hidráulica de ríos e algunos términos hidrológicos que permitan comprender y entender el significado de todo los términos utilizados para describir las características que se presenten el presente trabajo.

1.3.1. TIPOS DE FLUJO

1.3.1.1. Flujo Permanente

Un flujo permanente es aquel en el que las propiedades y condiciones hidráulicas permanecen constantes en el tiempo, esto en ocasiones pueden no ser constantes en el espacio. Las características del flujo, como son: Velocidad (V), Gasto o caudal (Q), y tirante o calado (h), son independientes del tiempo, si bien pueden variar a lo largo del cauce.

1.3.1.2. Flujo Transitorio o No Permanente

El flujo transitorio presenta cambios en sus características a lo largo del tiempo para el cual se analiza el comportamiento del canal, las características del flujo son función del tiempo.

1.3.2. CUENCA

Una cuenca es una depresión en la superficie de la tierra una valle rodeado de alturas, delimitada por una línea imaginaria llamado parte aguas que es localizada en las partes más altas de la zona y delimita una cuenca de otra, siendo así una parte de la superficie terrestres que el flujo de agua que capta el área fluye hacia un mismo lugar encausados en un mismo rio o lago.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

1.3.3. RÍO

El término río, que su significado proviene del latín, y se denomina como una corriente natural de agua continua que desemboca en otro similar, en un lago o en el mar, cuando el rio desemboca en otro de mayor capacidad o condiciones hidráulicas más importantes se les conoce como afluente.

Los río no suelen ser constantes a lo largo del año por lo que poseen ciertos caudales, y que en los periodos con mayor captación de cantidad de precipitaciones, los caudales aumenta. En cambio, cuando las precipitaciones son menores y se presentan temperaturas extremas el caudal desciende y en ocasiones el rio puede secarse.

Algunos ríos pueden ser regulados por embalses de presas importantes con la finalidad de evitar daños aguas abajo del cauce en las crecidas importantes del rio, o para utilizar el flujo para rio de las zonas agrícolas aledañas a los cauces, o sustentabilidad de agua en ciudades así como la generación de energía a través de plantas generadoras de energía eléctrica

1.3.4. CAUDAL DEL UN RÍO

El de un río es la cantidad o volumen, de agua que pasa por una sección determinada en un tiempo dado. El caudal, está en función de la sección (m2) a travesar por la velocidad a la que atraviesa la sección (m/s). Se expresa en litro o metro cúbicos (l/s o m3/s). El problema para conocer el caudal que pasa, es determinar la velocidad, ya que la misma es variable en cada punto del cauce y la sección, para esto hay diferentes métodos de aforo son métodos de aproximación, lo normal es considerar los datos ofrecidos por las Estaciones Hidrométricas que están instaladas a lo largo de un rio, cuando se cuenta con ellas.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

1.3.5. ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

Es un mecanismo manual o automatizado que consiste en la medida de la altura de un punto y consiste en una o varias reglas graduadas colocadas verticalmente y perfectamente niveladas entre sí, en una sección de río, y mediante el auxilio de un operador que trabaja en las proximidades de la estación se registra en planillas los niveles observados a horas preestablecidas y todo otro evento relevante para el funcionamiento de la estación, esto es manualmente.

Las estaciones automatizadas son mecanismos en los cuales se instalan mecanismos automáticos de registro continuo (limnígrafos), de funcionamiento mecánico o eléctrico, estas estaciones nos permiten tener mayor continuidad de datos y reducir factores de falla por el factor humano,

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

CAPÍTULO 2

2. ANTECEDENTES

2.1. ANTECEDENTES DE INUNDACIONES

Las inundaciones se han presentado a lo largo de los años por las creciente de los principales cauces en el resto del mundo, a causa de las avenidas extremas y que han afectado a países de primer mundo como países de tercer, en estos últimos se presenta con mayor regularidad por la falta de atención a mantener los cauces en adecuado funcionamientos.

Las inundaciones se han presentado en gran parte del continente Americano dejando incalculables daños materiales y de irreparables vidas humanas, como las ocasionadas por la inundación del 13 de noviembre de 1985 en Armero, Colombia ocasionando pérdidas materiales incalculables y 25,000 muertos. Las provocadas por el Huracán Katrina que azoto la costas de Nueva Orleans, Luisiana y Misisipi en Estados Unidos en agosto del 2005causando la muerte de 1,619 personas.

En el resto del mundo también se han presentado grandes inundaciones causando daños y muertes de seres humanos, como las ocurridas en España en el año de 1802 y en 1897, o la mayor inundación en la historia de Pakistan en el año del 2011 dejando 1,600 muerto y 2 millones de personas desplazadas.

En México también se han presentado inundaciones considerables que han ocasionado pérdidas humanas y daños materiales incalculables como la ocurrida en el 2007 afectando el 80% del territorio de tabascos y parte del norte de Veracruz debido a las fuertes lluvias originando la mayor crecida

histórica de los ríos Usumacinta y Grijalva y la desfogación de las presas Peñitas y Malpaso ubicadas en el estado de Chiapas.

2.2. CAUSAS DE LA INUNDACIÓNES

El cambio climático y los problemas de inundaciones derivados de estas, se están incrementando de forma paralela al crecimiento poblacional y económico en las ciudades, lo que ocasiona un incremento en las condiciones de vulnerabilidad y los costos de desastres por inundaciones en los núcleos poblacionales rurales y principales ciudades.

En los últimos años más del 25% de los desastres ocurridos en el mundo se atribuye a las inundaciones. De ahí la importancia de estudiar este tipo de eventos y sus afectaciones en las zonas vulnerables, ya que la ocurrencia de estos es muy elevada y con mayor frecuencia debido al cambio climático que se presenta en el mundo.

En zonas urbanas, la acumulación de las franjas de terrenos a inmediatas de los causes de los ríos, la acumulación de desechos sólidos, el encausamiento de los ríos, la existencia de alcantarillas y puentes con dimensiones menores a las de sus avenidas máxima, la urbanización de las cuencas por el crecimiento imperante de las ciudades en la actualidad, juntos con otros factores han contribuido aumentar la vulnerabilidad de la sociedad a este tipo de fenómeno.

La falta de atención por parte de las autoridades responsables de mantener los cauces en condiciones para soportar una avenida extrema, así como la falta de cultura de la sociedad en mantener los cauces sin contaminación, provocando el azolve de los principales cauces y perdiendo las características hidráulicas para soportar este tipo de avenidas.

Las inundaciones aparte de las pérdidas materiales incalculables, que pueden causar, son causa de una gran foco de infección por las lagunas y lodos que

provocan este tipo de desastres, dando paso a la creación de enfermedades por diversas fuentes de contaminación, siendo una de ellas la plaga del mosquito del Dengue por la acumulación de agua y su tardado desalojo de las zonas.

2.3. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA REGIÓN DONDE SE APLICA LA METODOLOGIA

La metodología se aplicara en el estado de Guanajuato, en la ciudad de Salamanca donde se han presentado inundaciones que afectan la ciudad y las zonas agrícolas aledañas por causa de los desbordamientos del rio Lerma que cruza la ciudad de Salamanca de Oriente a Poniente, pasando en una gran parte cerca del centro de la ciudad.

El estado de Guanajuato se localiza en la Meseta Central y al sur de la Altiplanicie Mexicana, forma parte de la región geográfica centro – occidente. Esta ubicación central respecto a la Republica resulta estratégica para su desarrollo económico, posición que lo hace un punto de articulación para una amplia gama de actividades económicas.

La ciudad de Salamanca está ubicada dentro del estado de Guanajuato, en lo que es llamado “El Corredor Industrial del Bajío”. Este corredor se encuentra asentada en un valle rodeado de grandes cerros. Salamanca colinda al norte con los municipios de Guanajuato, Dolores Hidalgo y San Miguel de Allende al oeste con los municipios de Irapuato y Pueblo Nuevo, al sur con los municipios de Valle de Santiago y Jaral del Progreso, al este con los municipios de Cortázar, Juventino Rosas y Villagrán.

El área presenta distintos tipos de vegetación, como bosques de encinos, mezquital, chaparral, destacando una especie de biznaga que se encuentra en

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

peligro de extinción. En la zona también nos podemos encontrar con aves como águila caminera, el gavilán cola roja y la garza morena considerada como una especie rara, así como una gran variedad de roedores y serpientes.

Fig. 2 Localización de la Zona de Aplicación de la Metodología

2.4. ANTECEDENTES HISTÓRICOS EN CIUDAD DE SALAMANCA GTO

En el caso de la ciudad de Salamanca Guanajuato. Que se encuentra sobre los márgenes del rio Lerma localizado en la región hidrológica No. 12, siendo la principal corriente del estado de Guanajuato. Fluye de oriente a poniente de la región sur del estado y siendo la ciudad de Salamanca una de las más importantes (con mayor asentamiento Urbano) donde el cauce cruza en la misma dirección, por consiguiente es una de las más afectadas.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

El rio es controlado por presa Solís, recibe los escurrimientos de los ríos Laja y Guanajuato, controlados por las presas Ignacio Allende y la Purísima, respectivamente, también recibe los escurrimientos de los ríos Temascatío y Turbio. Debido a las aportaciones de las confluencias y de la misma presa Solís ocasionan que el cauce pierda capacidad hidráulica, lo que provoca desbordamientos y las consecuentes inundaciones que afectan a zonas agrícolas y en gran parte la mancha urbana de la ciudad de Salamanca.

2.5. ANTECEDENTES DE LA METODOLOGIA PARA ELABORACIÓN DE MAPAS DE INUNDACION

2.5.1. MÉTODOS HISTÓRICOS

Esta metodología se basa en la suposición de que si el agua alguna vez ha alcanzado ciertos niveles puede alcanzarlos puede alcanzarlos también en un futuro no muy lejano, determinando esta zona como “de crecida histórica”, para hacer esta determinación se emplean documentación histórica como manuscritos, archivos, o bien testimonios orales o audiovisuales como fotos, marcas sobre elementos artificiales como alguna edificación o marcas en rocas o árboles que se encuentran a lo largo de los márgenes del rio.

El empleo de estas fuentes de información y su análisis tienen básicamente tres fases;

- Búsqueda y recopilación de la documentación
- Análisis e interpretación de la información
- Integración de los datos en el análisis estadístico de caudales.

2.5.2. MÉTODOS PALEO-HIDROLÓGICOS

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

Desde el punto de vista etimológico, cualquier análisis y fuente de información de eventos pretéritos pueden considerarse objeto de estudio de la Paleo-hidrología. Sim embargo, en la literatura científica se suele restringir la denominación de paleo-inundación y el empleo de métodos Paleo-hidrológicos, al estudio de fuentes de información procedentes de registro Geologico-sedimentologico estos métodos se basan en la competencia de flujo, en los indicadores de pelao-nivel o pelo-estado incluyen líneas de erosión por ejemplo los depósitos de inundación.

2.5.3. MÉTODOS HIDROLÓGICO - HIDRÁULICOS

2.5.3.1. Métodos hidrológicos

Si consideramos que una crecida o avenida fluvial es un episodio con caudales anormalmente altos que registra un punto o tramo de la corriente, en su análisis sea básica la caracterización temporal de esos caudales anómalos, esto es, la definición del hidrograma de crecida correspondiente a dicho evento.

Para el estudio hidrológico de las crecidas, abarca desde la caracterización completa de un hidrograma hasta la determinación de tan solo alguno de sus parámetros, como el caudal punta pico del flujo.

Dentro de estos métodos se pueden diferenciar dos tipos de métodos: aquellos que pretenden analizar una avenida previa o pasada empleando el propio registro directo de caudales: y aquellos métodos que aspiran a estimar caudales de crecidas futuras situaciones hipotéticas partir de datos indirectos de crecidas pasadas del análisis de datos de precipitación y/o caudal registrados en otras crecidas.

2.5.3.2. Métodos Hidráulicos

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

Flujo Unidimensional.- los procesos fluviales son debidos a la energía de una masa de agua desplazándose por la gravead sobre conductos abiertos y ajustándose a los condicionantes que imponen su viscosidad, el rozamiento contra el lecho y la carga de material transportado.

Se puede simplificar el flujo del agua en una corriente fluvial como unidimensional, es decir, la profundidad y velocidad solo varían en la dirección de la longitud del canal, cuyo eje se supone aproximadamente una linea recta, y la velocidad es constante en cualquier punto de esta sección transversal.

Flujo Bidimensional.- durante un evento de crecida es habitual que el flujo del agua quede restringido a la centro línea unidireccional de un canal principal, si no que el caudal desborde ocupando los márgenes y la llanura de inundación.

En algunos casos en los que existan áreas cuyo flujo pueda simplificarse en una dimensión y otras áreas en las que esto sea insuficiente y la simplificación a dos dimensiones sea aceptable, la conexión entre ambos modelos permite implementar soluciones capaces de obtener el mejor rendimiento de cada una de las simplificaciones.

Flujo Bifásico y arrastres de solidos.- la dinámica fluvial es compleja y los métodos matemáticos de análisis solo pueden abordarla por medio de simplificaciones. Las aproximaciones matemáticas al problema de los acarreos o arrastres de solidos parten de dos conceptos básicos. El primero de ellos es la relación entre la energía de una corriente y la granulometría del sedimento; y el segundo de ellos en la cantidad de material disponible.

2.5.4. MÉTODOS GEOLÓGICO – GEOMORFOLÓGICOS

Estos métodos pueden ser aplicados en el análisis y cartografía de la peligrosidad por avenidas e inundaciones en cinco grandes ámbitos o campos:

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

- La configuración de las formas del relieve como condicionante de las avenidas e inundaciones fluviales, tanto en los aspectos morfológicos como morfo dinámicos y morfo evolutivos.
- La disposición cartográfica de las formas y depósitos fluviales como base para la cartografía de peligrosidad por avenidas e inundaciones

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGIA DE DETERMINACION ZONA DE RIESGO

3.1. BASES PARA REALIZAR LA METODOLOGIA DE INUNDACION

La base con que se comienza a realizar es con las metodologías existentes, tomándolas como las bases para realizar esta metodología, ya que será basada en una Metodología Hidrológica-Hidráulica, metodología que ya existe, a la cual se le realizaran algunos cambios, en cuento información necesaria, los software que se son utilizados, la manera de terminación de los mapas. Esto debido a la información con la que se cuenta así como la información que se tiene para realizar esta metodología.

La metodología que se presenta toma en cuenta información geográfica, topográfica, e hidráulica así como aspectos hidrológicos, información que queda se presenta en un esquema, que representa un desarrollo secuencial en serie, proceso mediante el cual es necesario la utilización de software de uso libre como es el HEC-RAS, GEO-RAS, ARCVIEW, Auto CAD, software que permiten la modelación a partir de sistemas de información geográfica, y topografía de las zona en estudio.

La información necesaria para obtener la metodología para obtener los mapas de inundación, debe ser la adecuada y con las características necesarias para obtener resultados de calidad, la información geográfica, la topografía detallada de la zona que se va estudiar, la información hidrométrica o hidrológica, con la información completa es suficiente para comenzar a plantear la metodología.

El resultado final que se obtiene es una cartografía de inundaciones representando la zona de estudio y sus áreas más vulnerables así como las

que tienen mayor afectación una vez que se pueda presentar un fenómeno natural con las características necesarias para causar daños.

3.2. ESQUEMA DE MODELACION

La información necesaria que se requieren para la modelación de estos mapas son datos hidráulicos, datos físicos, geométricos y algún Software de uso libre de los ya mencionados. La modelación se lleva a cabo mediante procesos y su resultado nos da la información de entrada al siguiente proceso así sucesivamente quedando como un resultado final los mapas inundación de forma geográfica.

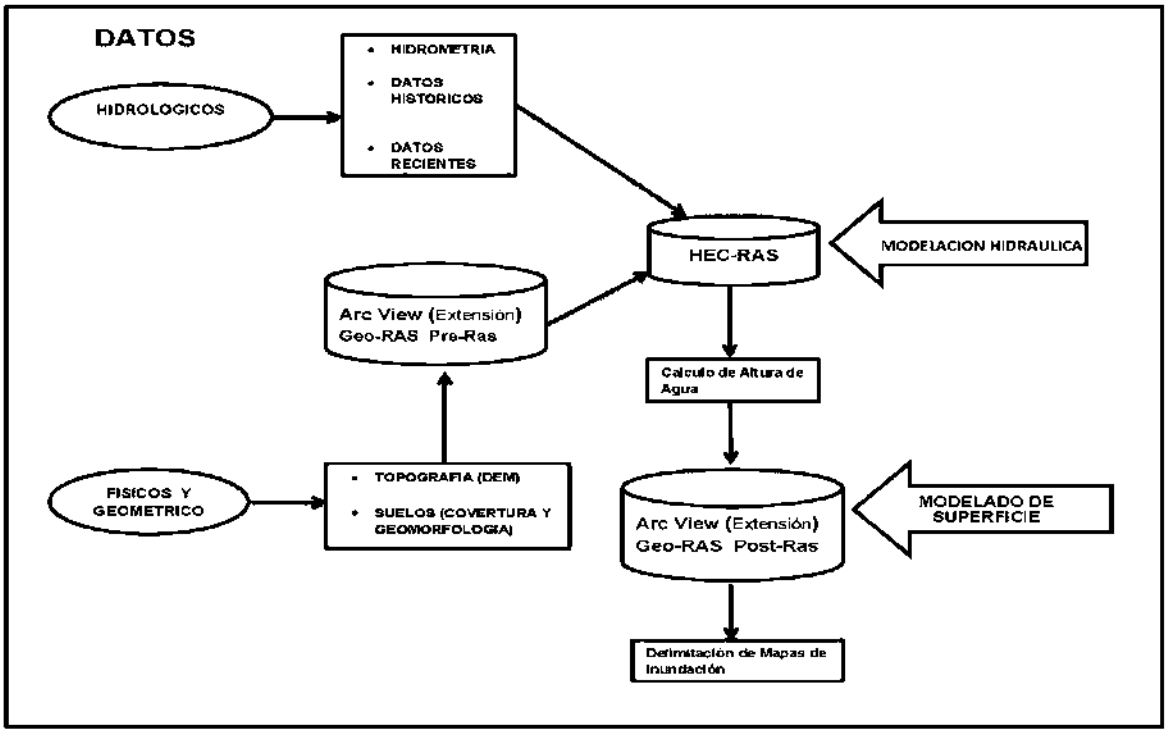

Fig. 3 Esquema de Metodología para la Modelación

El esquema está basado en la metodología Hidrológica-Hidráulica para el desarrollo de cartografía de inundación, que se divide en dos fases una hidrológica y una hidráulica mediante software de uso libre para obtener las

condiciones físicas para cada fase, determinando las condiciones hidrológicas, da paso para realizar la modelación hidráulica y pasando aun final que es la determinación de la superficie de inundación.

3.3. DATOS PARA LA ELABORACION DE LA METODOLOGÍA

Los datos necesarios para llevar a cabo una metodología para la determinación de mapas de inundación, son varios y de varios tipos, principalmente son los datos hidrológicos, que dependen de la zona donde se esté desarrollando la metodología, las condiciones físicas y geométricas de la zona en donde se quieran determinar la cartografía de inundación.

También es necesario contar con las herramientas informáticas para la manipulación de la información y desarrollar el procedimiento de la metodología y tener los resultados que se desean con mayor precisión.

3.3.1. DATOS HIDROLOGICOS.

Los datos hidrológicos son un factor de entrada para la modelación hidráulica en el programa HEC-RAS, este tipo de información se puede obtener de diferentes fuentes como la Hidrometría, datos históricos de inundaciones presentadas en la zona de estudio, hidrología de la cuenca en estudio.

Es la información de los caudales que pasan por el cauce en estudio así como las precipitaciones que se tienen en la cuenca del rio en estudio cuando es necesario realizar hidrología para la determinar el caudal trasportado por el rio, a hacer el diseño a diferentes periodos de retorno.

3.3.1.1. Datos Hidrométricos

La Hidrometría son datos medidos mediante una estación hidrométrica ubicada en una determinada sección del cauce del rio, a través de un aforo diario del volumen de agua que circula que presenta un estadístico con la variación a lo

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

largo de un tiempo específico, conociendo de esta forma el volumen máximo que ha pasado por dicho punto de la zona en estudio. Es importante tener en cuenta que esta información nos puede presentar variaciones con la realidad por los errores de medición cuando es mediante estaciones hidrométricas manuales.

La hidrometría principalmente se encuentra en cauces regulados o de mayor importancia en cuanto a su cauce o importancia para el trasporte de flujo, en ocasiones se puede complementar con hidrología para realizar una comparativa de los gastos.

3.3.1.2. Datos Históricos

Los Datos históricos son datos recopilados de información sobre inundaciones históricas en fuentes documentales, como encuestas a la población de la zona en estudio que aportan datos de gran importancia sobre las características de los eventos máximos como son la superficie afectada, niveles alcanzados, identificando a lo largo del cauce cuales son las zonas vulnerables en una avenida extrema.

3.3.1.3. Datos Recientes

Los estudios hidrológicos nos permiten estimar los caudales para periodos de retorno, dado a partir de series de datos de caudales, precipitación y de estudios de infiltración, mediante datos meteorológicos existentes a través de estaciones meteorológicas que presenta alguna discusión por la información de su series de datos y ubicación de estas estaciones debido a él gran sesgo que presentan en su información. Mediante este análisis se define una red hidrográfica y un sistema de sub-cuencas que permitan realizar los cálculos hidrológicos de una forma sema-distribuida, de esta forma se obtienen los caudales para los diferentes periodos de retorno.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

Para la obtención de la información hidrológica se tiene como ayuda las herramientas de información geográfica y de software tales como Arce View complementado con sus extensiones como el HEC-HMS para la obtención de los caudales asociados a periodos de retorno.

3.3.2. DATOS FISICOS Y GEOMETRICOS

Los datos físicos geométricos son datos que no se quedan atrás en su importancia porque son el complemento para desarrollar y aplicar la metodología, es información que de las condiciones naturales en las que se encuentra el cauce, su topografía, la cobertura vegetal que se tiene a lo largo del cauce, jugando un papel importante para alimentar los software para su desarrollo.

3.3.2.1. Datos Topográficos

La topografía o estudios topográficos necesarios para la elaboración de información geográfica de inundaciones, deber ser de una forma detallada, del cauce principal como de las llanuras de inundación para tener una mayor precisión en la información geográfica de inundaciones, conocer a detalles el curso de la inundación.

El levantamiento topográfico del detalle de las curvas debe ser de una precisión tan exacta que por lo menos deben ser levantadas a un 1 m de distancia si no es posible hacerlo a cada 0.50 m, de esta forma se lograra una mejor uniformidad en la inundación.

La información puede ser adquirida también de sistemas de información geográfica (SIG) mediante Modelos Digital de Elevación (MDE) del terreno de la zona de estudio en su forma *raster.* Esta topografía es menos precisa porque la información solo se encuentra en pixeles de 20 m x 20 m.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

3.3.2.2. Datos De Cobertura Vegetal

Los datos de la cobertura vegetal es información de entrada al programa de Hec-Ras que determinan los coeficientes de Manning, siendo estos los que los que determinan la rugosidad que puede presentar el cauce a lo largo de su zona de estudio

3.3.2.2.1. Coeficiente De Rugosidad De Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning es una propiedad que describe la rugosidad del cauce y de las llanuras de inundación, es un factor que depende de diferentes condiciones y factores, el conocimiento de este factor debe ser considerado como un punto de gran importancia para el modelado en la zona de estudio.

La rugosidad de la superficie según el tamaño y forma de la granulometría que se encuentra en el cauce y a lo largo del perímetro mojado, puede producir una reacción de oposición a la dirección del flujo, y por lo general los granos finos o muy pequeños resultan un valor coeficiente de rugosidad relativamente bajo y los granos gruesos o grandes un valor alto.

La vegetación es otro factor que también es muy importante para la determinación de coeficiente de rugosidad, esta es tomada como una rugosidad superficial, debido a que el efecto que tiene depende de la altura, densidad, distribución y tipo de vegetación, es de gran importancia en el diseño y modelación porque comúnmente los cauces naturales no reciben un mantenimiento regular como es el caso del Rio Lerma.

La irregularidad del rio a lo largo su eje longitudinal, la variación de sus secciones transversales y su forma, pueden sufrir grandes cambios que nos modifiquen el coeficiente de Manning, por ejemplo, si el cambio es gradual y uniforme en las secciones transversales, en su tamaño y forma, los efectos

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

producidos no son tan apreciables, por el contrario, si los cambios son muy abruptos o si sus secciones cambian de pequeñas a grandes requiere el uso de coeficientes más grandes.

Las obstrucciones son otro factor que se debe tomar en cuenta y que nos pueden modificar el coeficiente de rugosidad, en ocasiones se pueden encontrar con troncos de árboles, desechos de flujos, atascamientos, bancos, entre otros, que pueden producir variaciones importantes.

La combinación de estos factores los encontramos comúnmente en cauces naturales, que cambian a lo largo de todo el tramo en estudio presentando variaciones en el coeficiente de rugosidad de Manning. Para la asignación de coeficiente se toman en cuenta todos los parámetros antes mencionados y se elige su valor en tablas proporcionas por la bibliografía y principalmente por un criterio de experiencia.

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
A. *Natural Streams*			
1. **Main Channels**			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. Same as "d" but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy. deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.070	0.100	0.150
2. **Flood Plains**			
a. Pasture no brush			
1. Short grass	0.025	0.030	0.035
2. High grass	0.030	0.035	0.050
b. Cultivated areas			
1. No crop	0.020	0.030	0.040
2. Mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. Mature field crops	0.030	0.040	0.050
c. Brush			
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
2. Light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.060
3. Light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.080
4. Medium to dense brush, in winter	0.045	0.070	0.110
5. Medium to dense brush, in summer	0.070	0.100	0.160
d. Trees			
1. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.030	0.040	0.050
2. Same as above, but heavy sprouts	0.050	0.060	0.080
3. Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches	0.080	0.100	0.120
4. Same as above, but with flow into branches	0.100	0.120	0.160
5. Dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200

Fig. 4 Valores de Coeficientes de Manning

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

3.4. PROCESO PARA OBTENER LA GEOMETRIA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

El proceso para obtener la geometría de la zona, propuesto por la metodología, se basa en la utilización de un software de uso libre Arc View, complementado por una extensión para el programa Geo-RAS, e información topográfica, como: estudios topográficos, o cartas vectoriales del terreno, modelos digitales de elevación (MDE) información que puede ser proporcionada por INEGI (Instituto Nacional de Estadística Y Geografía), información que se trabaja previamente con Auto CAD.

La información de del estudio topográfico es trabajado previamente con Auto CAD, para hacer el cambio de formato de (dwg a dxf), formato que ya puede ser leído por el programa de Arc View, cuando no se cuenta con un estudio topográfico completo si la zona de estudio se encuentra en una zona urbana, hay que añadirle la topografía de catastro de la zona urbana si se cuenta con ella, o que puede ser proporcionada por INEGI.

El complementar la topografía de cauce con la topografía de catastro de una zona urbana que se encuentra en el área de estudio, es con la finalidad de tener la información de calles, zonas construidas con su respectiva elevación, que una vez que se tenga las superficies inundadas se pueda tener una representación de lo que puede pasar físicamente al ocurrir un desastre de esta magnitud.

Esta parte de elevar las cuadras o zonas que se encuentran construidas, es la parta diferente de las metodologías existentes y la metodología que se realiza para este trabajo, con la finalidad de tener resultados más favorables y un poco más precisos.

3.5. MODELACIÓN HIDRÁULICA

Muchos de los fenómenos que ocurren en la naturaleza y dentro del campo de la hidráulica son tan complejos que no es fácil tratarlos únicamente con métodos matemáticos. Por lo que es conveniente recurrir al empleo de técnicas experimentales, como herramientas en la obtención de soluciones prácticas, aplicadas a problemas de ingeniería, estudios fluviales y obras hidráulicas en general.

Los métodos matemáticos plantean soluciones con modelos matemáticos idealizados, lo que permite simplificaciones importantes, pero que no dejan de ser modelos que representan aproximaciones a las condiciones reales y que pueden tener una variación en los resultados si no se tiene cuidado al tiempo del modelado.

La modelación hidráulica que se lleva a cabo en esta metodología se a través de un modelo matemático, que es alimentado mediante información de entrada que realiza procesos, a través de HEC-RAS, un software que está programado mediante un modelación matemática de ecuaciones hidráulicas para la solución de la modelación hidráulica.

3.5.1. Datos De Entrada Para HEC-RAS

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

1. Características Geométricas del Cauce

    - Dimensiones del Cauce
    - Forma de la sección transversal

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

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

2. Características Hidráulicas

- Coeficiente de Rugosidad (Manning)
- Pendiente Hidráulica
- Pendiente Media del Cause
- Caudal

3. Características topográficas del Flujo Estudiado

Distancias y alturas acotadas frente a un nivel de referencia del perfil de la superficie libre de las diferentes secciones, lo cual ya está implícito en las coordenadas que describen la geometría de las secciones transversales, (en caso de existencia cuando se realizó en estudio Topográfico).

3.5.2. Modelación En HEC-RAS

La modelación en el programa de HEC-RAS, una herramienta que fue desarrollada por el cuerpo de ingenieros de ejército de los Estados Unidos, es un programa que realiza cálculos hidráulicos unidimensionales para redes hidráulicas naturales o construidas. Realizando los análisis hidráulicos en régimen Permanente, no Permanente y cálculo de Sedimentos, entregando un reporte resultados de forma gráfica y tablas.

La principal objetivo de utilizar este el programa de HEC-RAS es el cálculo de alturas de agua en todas localidades de interés para un determinado caudal, como también que permite exportar los resultados a los programas de Arc View, para el siguiente paso de la metodología, y permitir desarrollar lo mapas de inundación.

Para comenzar la modelación es necesario contar con la información necesaria para alimentar el programa que son los datos geométricos y los datos de flujo. Permitiendo de esta manera comenzar la modelación realizando sus cálculos a partir de una sección transversal con condiciones iniciales conocidas o supuestas en aguas arriba para flujo sbcrítico o aguas abajo para flujo supercrítico.

Al ser un software que realiza los cálculos mediante modelos matemáticos basado en las leyes físicas, como el principio de conservación de la masa (continuidad), y el principio de conservación del momento, dos de las ecuaciones que utiliza el programa para resolver los problemas la ecuación de Continuidad y ecuación de Momento.

Una vez conociendo brevemente en lo que está basado el desarrollo de HEC-RAS y su forma de cálculo, que esto es parte del conocimiento previo para poder utilizar la metodología, es tener un vasto conocimiento de cómo utilizar el programa y sus características para ser utilizado.

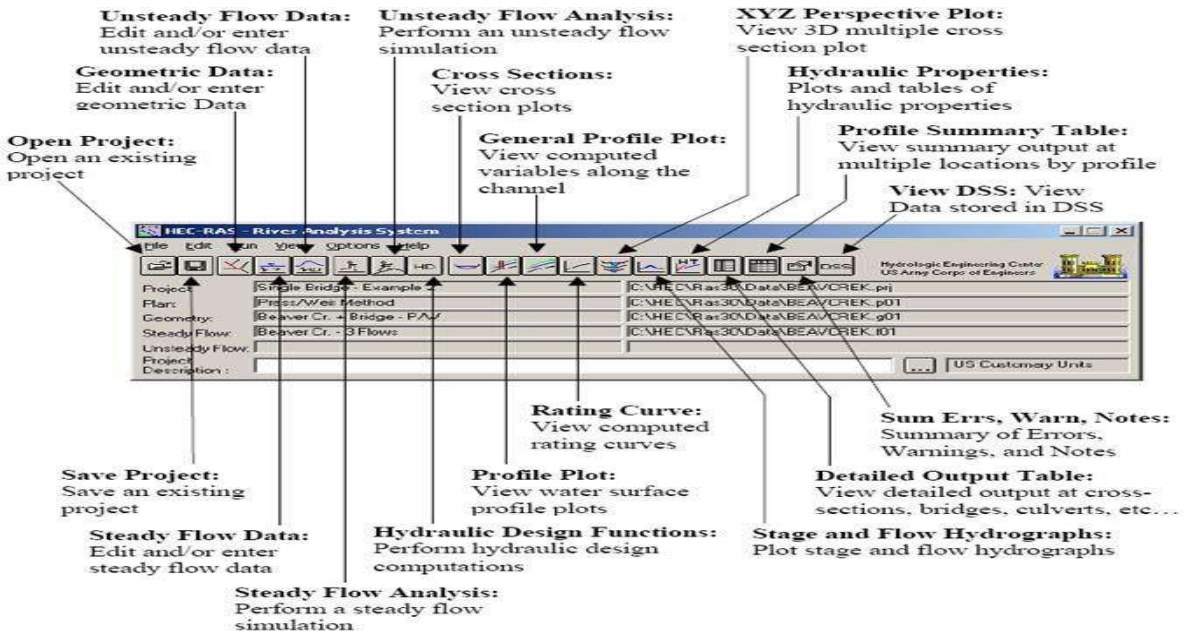

Fig. 5 Caratula Principal de Programa HEC-RAS

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

3.5.3. Exportar Archivos Generados

Una vez realizado la modelación hidráulica de un proyecto de la zona en estudio en particular y revisando y analizando sus resultados, previamente calibrado para un mejor precisión en los resultados, es momento de exportar los archivos generados en el programa, que son las alturas obtenidas en la modelación hidráulica, mediante un formato GIS, que puede ser leído por el programa de Arc View mediante su extensión de Geo-RAS, extensión que fue desarrollada por el cuerpo de ingenieros de ejército de los Estados Unidos, para desarrollar mapas de inundación de las zonas con problemas en el territorio de los Estados Unidos.

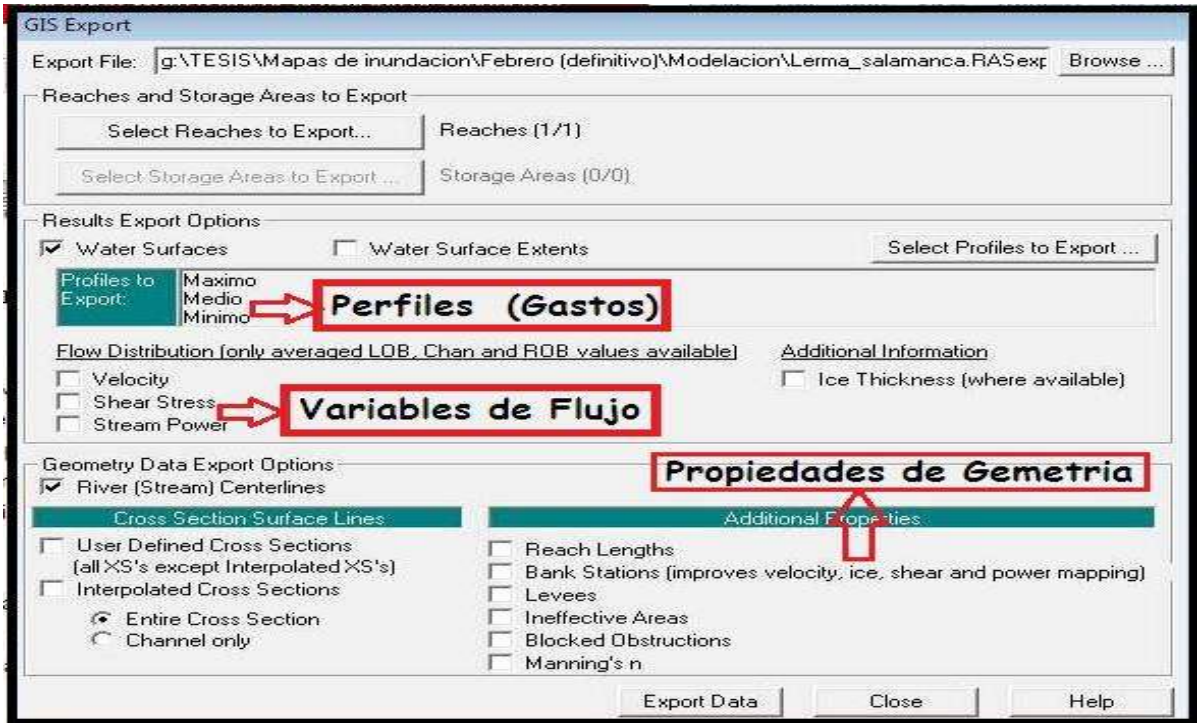

Fig. 6 Ventana Para Exportar la Información de HEC-RAS

Ya a la hora de exportar es necesario indicar algunos datos que se quieren exportar, los caudales si se tiene varios, los coeficientes de Manning, áreas

inefectivas, obstrucciones y principalmente las elevaciones obtenidas de la modelación hidráulica.

3.6. MODELACION DE LA SUPERFICIE DE INUDNACIÓN

La modelación de la superficie de inundación se realiza con ayuda de Arc View y la extensión Geo-Ras desarrollada por el cuerpo de ingenieros de ejército de los Estados Unidos, como un complemento que para pasar archivos a HEC-RAS de geometría del terreno incluyendo cauces del rio, secciones trasversales, etc. Posterior mente los resultados obtenidos de alturas y velocidad se exportan de HEC-RAS a Arc View y pueden ser procesados para obtener los mapas de inundación y riesgo, que este es el caso para este proceso después de la exportación de los datos generados por HEC-RAS.

3.6.1. Proceso Para Obtener La Superficie De Inundación

El proceso para obtener la superficie de cómo se dijo se realiza en el programa de Arc View y la extensión de Geo-RAS (PostRas) y se realiza mediante el procedimiento.

Desde el desplegable de postRas se debe elegir (theme setup), y se procede a buscar los datos que se solicita en la dirección que se guardaron los archivos que se exportaron de HEC-RAS, estos datos nos crean y lee una serie de temas y los coloca en la vista, mostrando varios temas como el TIN, archivos vectoriales, la planta de las secciones y cauce principal.

Una vez que termine de hacer el proceso de presentar los datos anteriores de la misma pestaña de postRas se elige (Ws TIN Generation), el tin será recortado por “bounding Polygon”. Eligiendo todo los perfiles que se tiene, perfiles que se exportaron de HEC-RAS.

Desde la misma manera se elige postRas – (Floodplain Delimetation), en este proceso se cran las zonas de inundación para perfil, es decir para cada caudal que se haya establecido en HEC-RAS. Además se genera en un grid con la profundidad de los caudales.

3.7. OBTENCION DE LOS MAPAS DE INUNDACIÓN (CARTOGRAFIA DE INUNDACIÓN)

Una vez realizados el proceso para obtener la superficie de inundaciones están completamente realizados los mapas de inundación solo faltaría complementarlos para tener una presentación de la cartografía de tal amanera que la presentación sea clara y entendible, colocando algunas orto imágenes de fondo de la zona de estudio, donde se represente las llanuras de inundación, y se pueda zonificar las áreas más afectadas, o tener una clasificación de las zonas más vulnerables según su grado de inundación.

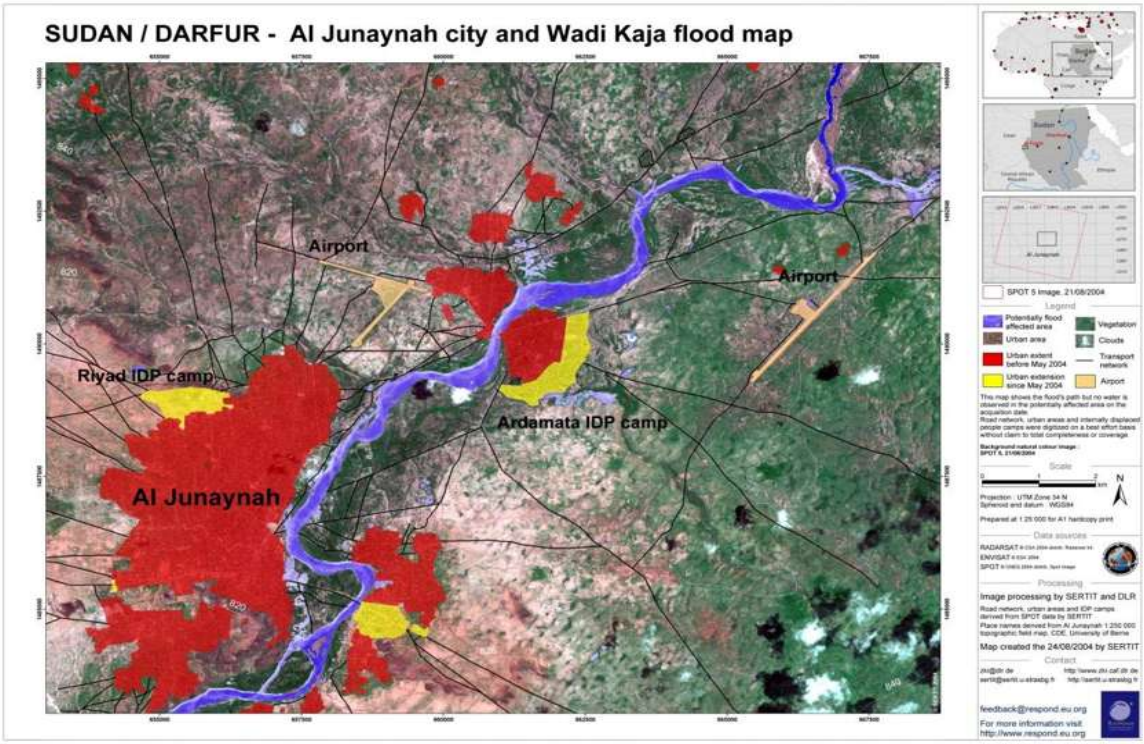

Fig. 7 Presentación De Un Mapa De Inundación

CAPITULO 4

4. HERRAMIENTAS INFORMATICAS

4.1. OBJETIVO DE UTILIZAR HERRAMIENTAS INFORMATICAS

Las herramientas informáticas forman parte muy importante para la elaboración de los mapas de inundación, en los cuales se realizan los procesos que dan paso al siguiente proceso y que el resultado de uno es la entrada para otra herramienta informática, son software de uso libre los que nos permiten la elaboración de esta información, tal es el caso de Arc View y sus extensiones HEC - GeoRAS, HEC-RAS y la utilización de Auto CAD.

La utilización de las herramientas informáticas facilita la elaboración de la cartografía, pero se tiene que tener en cuenta los ajustes y la calibración de los modelos físicos a los modelos de entrada en las herramientas informáticas, porque de aquí depende la salida de resultados confiables y exactos.

4.2. HERRAMIENTAS INFORMATICAS

4.2.1 Arc View 3.2

Es un programa de consulta y visualización de mapas que permite trabajar tanto en forma vectorial como en forma raster, aunque está enfocado hacia el formato vectorial. Una de las ventajas más grandes es su motor de base de datos es que permite añadir categorías a los atributos a medida que se visualiza el mapa en pantalla, una de las desventajas de ArcView son las tareas de edición que son un poco tediosas, sin embargo, es el programa idóneo para la consulta y expresar el resultado de los datos.

4.2.2. Arc GIS

Una nueva generación de SIG (Sistemas de Información Geográfica) de ESRI que viene bajo una misma arquitectura del programa de ArcView y ArcInfo de versiones anteriores y que está compuesto por todos ellos y con una gran facilidad de manejo, además con multitud de herramientas para consultar, analizar y presentar datos.

4.2.3. Auto CAD

Un programa de diseño asistido por computadora que permite dibujar en dos y tres dimensiones, permitiendo de igual forma modificar información de tipo topográfico así como realizar secciones transversales de cauces etc. mediante su extensión Civil CAD.

4.2.4. HEC-RAS

Es un software utilizado para la modelación de ríos, cálculo de perfiles de la superficie del agua, simulación de flujos no permanentes, transporte de sedimentos, así como para el diseño hidráulico de canales, presentando como desventaja en su modelo de cálculo el hecho de no dejar de ser una aproximación al flujo en lámina libre. Por ello lleva asociado unas limitaciones de cálculo inherentes a las hipótesis de partida de las ecuaciones que utiliza para resolver.

4.2.5. HEC-GeoRAS

Es una extensión para ArcView escrita en el lenguaje de programación. Desarrollada por el Hydrologic Engineering Center (HEC). Este al ser una extensión de ArcView, necesita para su uso de las extensiones 3D Analyst y Spatial Analyst. Esta extensión ayuda en la obtención e introducción de los datos necesarios al programa HEC-RAS, la información que suministra la

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

obtiene de un modelo de terreno tipo TIN (Trianguled Irregular Network), esta información incluye el cauce del rio, secciones transversales, etc.

4.2.6. MIKE FLOOD

Un programa de la familia de DHI, es una herramienta integral para la modelación de planicies de inundación, que trabaja mediante dos conceptos uno de modelación de flujo en una dimensión (MIKE 11) y modelación de flujo en dos dimensiones (MIKE 21) complementos que nos permiten la elaboración de mapas de inundación acoplando estos dos modelos, programa que trabaja en tiempo y espacio, esto lo hace uno de los programas más completos para esta problemática.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

CAPITULO 5

5. APLICACIÓN METODOLOGICA EN ZONA DE ESTUDIO

5.1. CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

La metodología propuesta y presentada en este trabajo se aplicara en un tramo de 8.1 km del rio Lerma localizado en la ciudad de Salamanca, Gto. Se trata de un tramo que cruza la ciudad de Oriente a Poniente a lo largo de toda la ciudad y cerca de la zona centro.

Para este caso se trata de un rio regula por la presa Solís que se encuentra localizada en A cámbaro, Guanajuato construida sobre el rio Lerma, es regulada a través de varias derivaciones a lo largo del cauce desde el punto de salida de la presa hasta la llegada a la ciudad de salamanca, así como varios afluentes que descargan en su cauce.

5.2. OBJETIVO PARA LA ZONA EN ESTUDIO

5.2.1 Objetivo General

- Conocer las capacidades hidráulicas del rio Lerma a lo largo de su paso por la ciudad de Salamanca, Guanajuato, así mismo las zonas con mayor vulnerabilidad a los desbordamientos generando un informe de las zonas y colonias dela ciudad más afectadas por este fenómeno.

5.2.2. Objetivo Especifico

- Caracterizar los principales perfiles de inundación de la ciudad de Salamanca, Guanajuato.
- Utilizar la metodología Hidrológica-Hidráulica desarrollada en el presente trabajo, para determinar los mapas de inundación.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

5.3. DATOS HIDROLOGICOS DE LA ZONA ENESTUDIO

5.3.1. Datos Recientes

Los datos recientes son dos de los gastos se obtuvieron de un proyecto antes realizado por CNA COMISION NACIONAL DEL AGUA delegación Guanajuato, para plantear en base a las condiciones físicas (topográficas) del cauce las posibilidades de solución para realizar el encauzamiento del rio así como las obras de protección en las zonas más vulnerables, estudiando así varias alternativas para la altura del bordo para cada opción seleccionado como gastos 713 m^3/s y 1100 m^3/s para el estudio de la propuesta de solución, gastos que se utilizaron para el estudio en este proyecto.

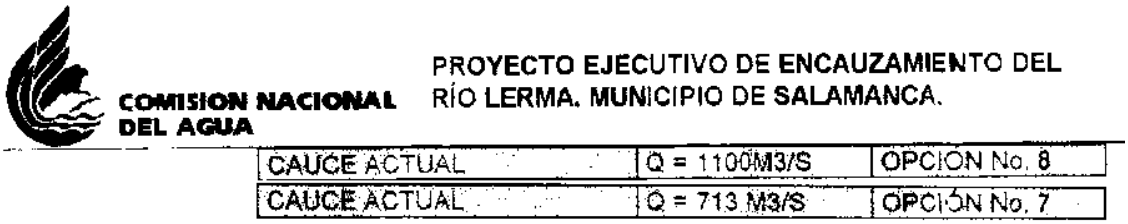

Fig. 8 Gasto del Proyecto Realizado por CNA

5.3.2. Datos Hidrométricos

Un tercer gasto fue obtenido del registro de la estación hidrométrica con clave 12352 SALAMANCA II, que se encuentra localizada sobre el rio Lerma en el cruce de este con la carretera Salamanca–Morelia en el puente llamado el Molinito, con coordenadas Latitud 20°34”00´ y Longitud 101°12”00´ , con un área drenada de 22033.0 Km^2. El gasto máximo obtenido de la estación en el transcurso de su operación es de 510 m^3/s registrado en el año de 1958.

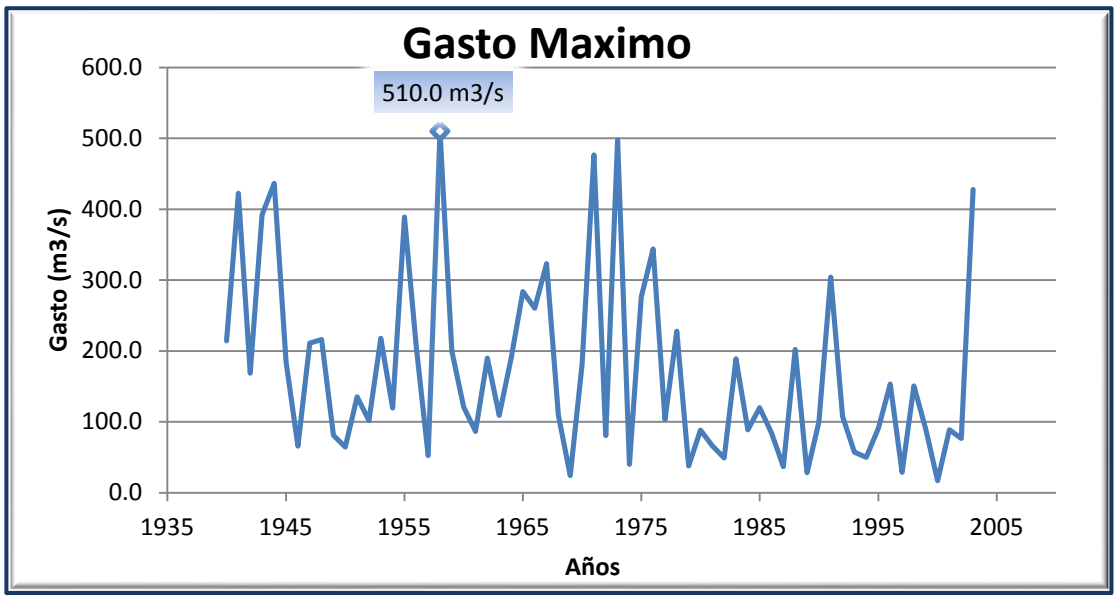

Fig. 9 Grafica de Gastos Máximos de La Estación Hidrométrica Salamanca II

La modelación de los gastos se realiza e tres escenarios diferentes uno con cada gasto para conocer las condiciones hidráulicas que presenta cada gasto, alturas máximas, zonas con problemas de desbordamiento y efecto en puentes que se encuentran a lo largo del rio Lerma.

5.4. DATOS FISICOS Y GEOMETRICOS DE LA ZONA EN ESTUDIO

5.4.1. Topografía

Los estudios Topográficos que se realizaron son: un levantamiento topográfico del río, de aproximadamente 8,100 m a lo largo de la ciudad de Salamanca con detalles de bordos, a la topografía se añadió la capa de catastro de la ciudad de Salamanca a los dos márgenes del rio, proporcionada por Instituto Nacional de Estadística Geografía e informática (INEGI).

5.4.1.1. Planta Topográfica

Para realizar la planta topográfica se utilizó el levantamiento topográfico y la capa de catastro que previamente se unieron con Auto CAD delimitando calles y zonas construidas de las manzanas de la ciudad, proporcionando una elevación aproximada de 5 metros de piso a techo, referencia que se tomó como altura de dos pisos de una vivienda, el formato de salida del archivo creado en Auto CAD fue en forma (Drawing Interchange Format) .DXF por sus siglas en Ingles, para la creación de un formato .SHP, mismo que es creado en el programa Arc GIS 9.3, es un archivo de formato leído por el programa para la creación de una maya del terreno en formato (TIN "Triangular Irregular Networks). Un modelo del terreno de forma en relieve, esto ayuda a realizar la planta topográfica con ayuda de Arc GIS y su extensión Geo-RAS.

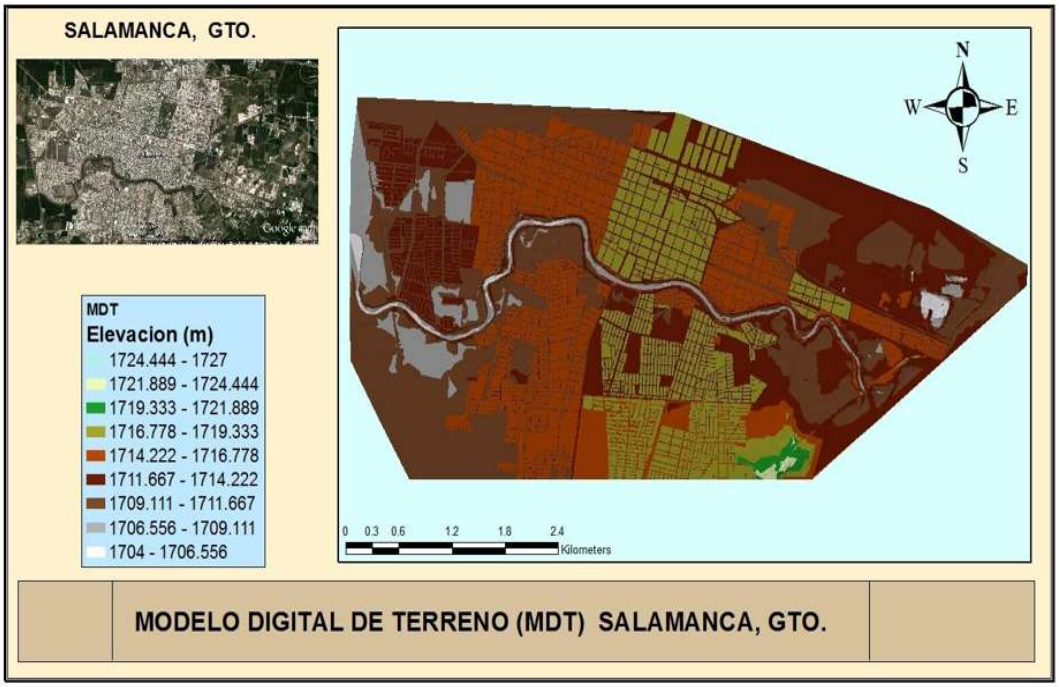

Fig. 10 Modelo Digital de Terreno Zona de Estudio

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

5.4.2. Coeficiente De Rugosidad Manning

Como ya se mencionó el coeficiente de rugosidad de Manning es una propiedad que describe la rugosidad del cauce, para determinar este coeficiente se puede hacer de varias maneras, para este caso se determinó a través de la visita de campo y un reporte fotográfico a lo largo del Rio Lerma. Además de la observación de diferentes secciones del lugar, para la modelación se escogieron diferentes coeficientes de Manning para el cauce principal que van desde 0.04, 0.045, 0.05 y hasta 0.055.

Como en cauces naturales se pueden encontrar a lo largo de un tramo diferentes condiciones físicas como por ejemplo, abundante vegetación o muy poca, pendientes muy pronunciadas, etc. Para estos trabajó por tramos el rio, se dividió por la localización de los puentes utilizando estos como fronteras entre un tramo y otro para la determinación del coeficiente de Manning con la finalidad de tener una mayor uniformidad y una representación más exacta de las condiciones de físicas actuales en el tramo en estudio del rio Lerma.

Fig. 11 Fotografía del Rio Lerma en Visita de Campo

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

5.5. OBTENCION DE LA GEOMTRIA DE LA ZONA DE ESTUDIO

Con ayuda del TIN o MDT mediante un proceso realizado en Arc Gis y ayuda de las extensión de Geo-RAS (Pre-Ras) se obtienen las condiciones de geometría del rio, como secciones, canal principal, entre otras, en total se trazaron 8,240 m de una poligonal. Se realizaron secciones transversales del cauce del rio, con distancias de 20 m y longitud variable, la longitud máxima es de 1,400 m y 700 m del centro de la poligonal para cada margen del rio. Las secciones transversales fueron obtenidas normales al flujo de rio

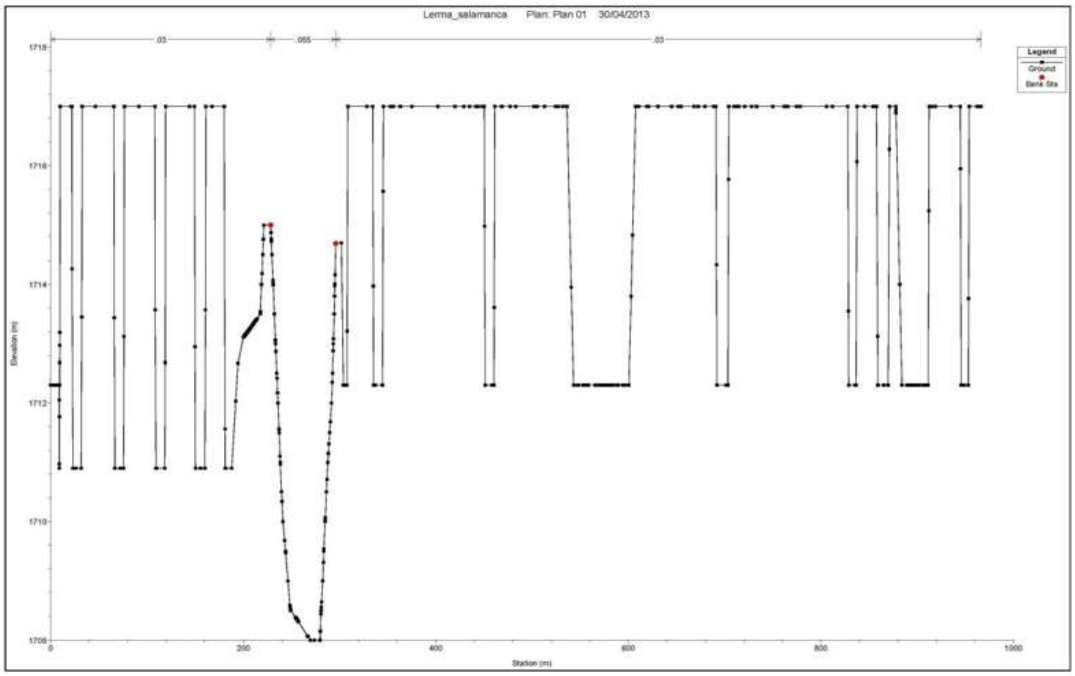

Fig. 12 Sección Del Rio Lerma en HEC-RAS

5.5.1. Generación De Datos De Entrada Para HEC-RAS

Cuando se ha creado ya la poligonal del rio, se extrae la información de geometría de todo el cauce y de las secciones transversales así como de la zona urbana de la ciudad de Salamanca para la entrada a HEC-RAS.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

Lo primero que se hace, para llevar a cabo la simulación con el programa Hec-Ras, es la alimentación del modelo como se describe en seguida. Para introducir los datos del Rio Lerma en el programa HEC-RAS, se dividió el río Lerma en cuatro tramos diferentes para los coeficientes de Manning, y las estructuras que se encuentran en el mismo los cuales son: tramo 1, tramo 2, tramo 3 y tramo 4.

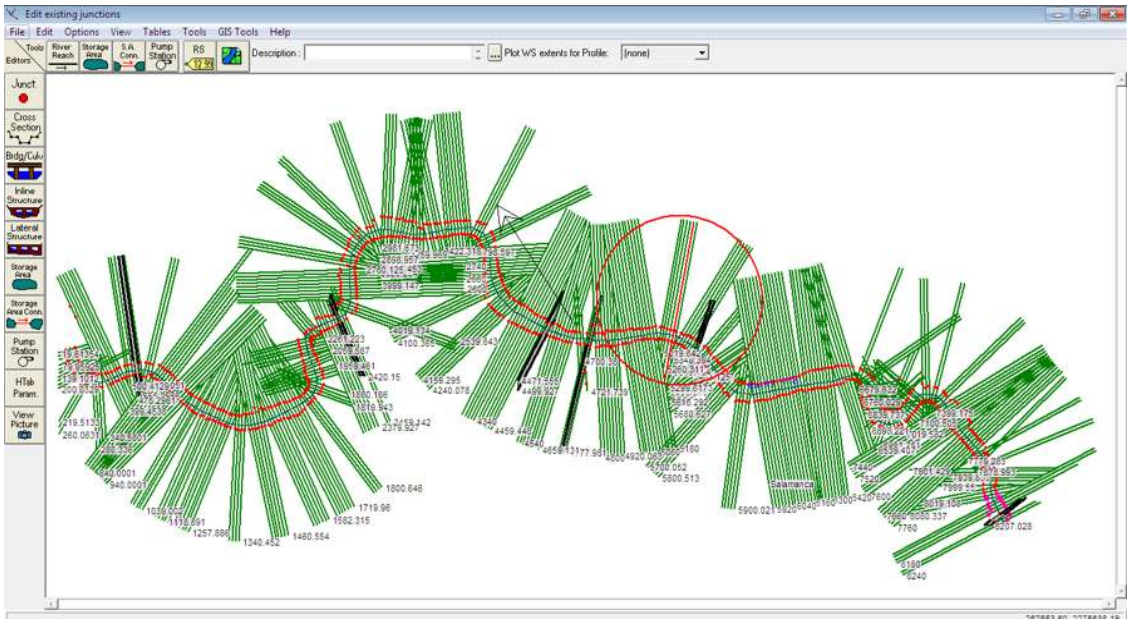

Fig. 13 Planta Del Rio Lerma en HEC_RAS

En la figura anterior se muestra como se divide la zona de estudio utilizando como referencia las estructuras (Puentes), para la división del tramo en estudio del rio Lerma, el TRAMO 4 que comienza en el cadena miento 8+240 hasta 5+920 incluyendo el puente Libramiento Oriente (Salamanca – Celaya), el TRAMO 3 comienza en la sección siguiente inmediata 5+900 a 3+880, dentro de la cual se encuentra tres puentes, el TRAMO 2 de la sección 3+860 a 1+780 en el cual se encuentra una estructura (Puente), TRAMO 1 que va desde 1+760 a 0+000 que es el último de aguas abajo con el puente del libramiento Poniente (Irapuato –Salamanca).

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

5.6. MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL RIO LERMA

La modelación hidráulica puede entenderse, como el uso de una representación matemática del sistema real denominado modelo matemático, con el que se pretende aumentar la comprensión del problema, hacer predicciones, mitigar y 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 presentó anteriormente, el software a utilizar es el HEC-RAS, a continuación se presentan las consideraciones, que se hicieron a la hora de plantear el modelo, esto se refiere a las hipótesis que fueron tomadas en cuenta.

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

Para aplicar el modelo se consideró como elemento el tramo del rio Lerma que cruza la ciudad de Salamanca Guanajuato, como zona de estudio.

En la siguiente figura se ilustra la ventana de HEC-RAS que nos permite introducir las propiedades de cada una de las secciones así como editar la información de la topografía de la sección, coeficiente de Manning, distancias aguas abajo de la siguiente sección , etc.

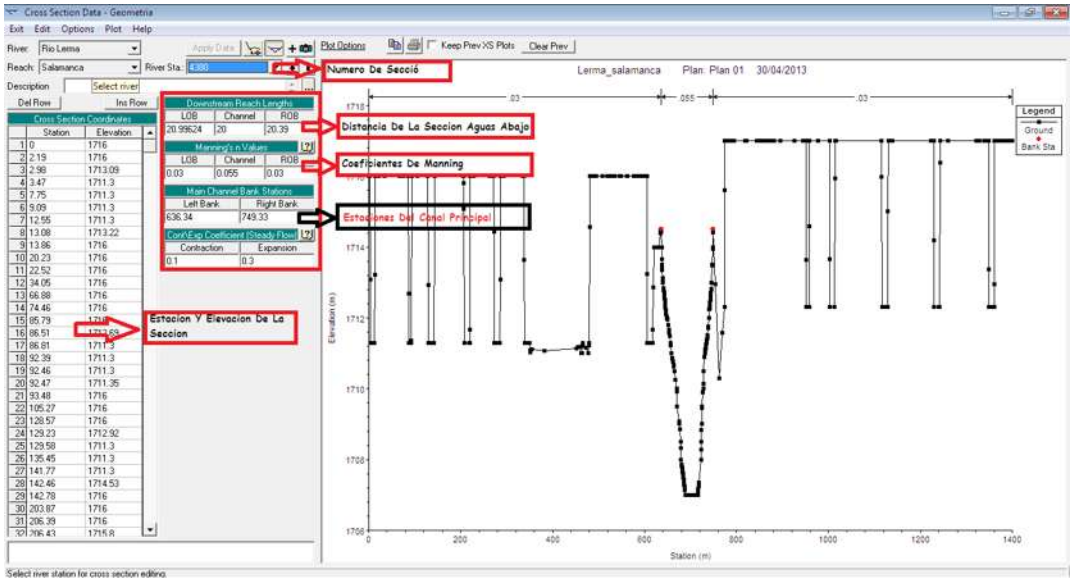

Fig. 14 Editor Para las Secciones en HEC-RAS

El editor de HEC-RAS para la modelación de los puentes nos 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.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

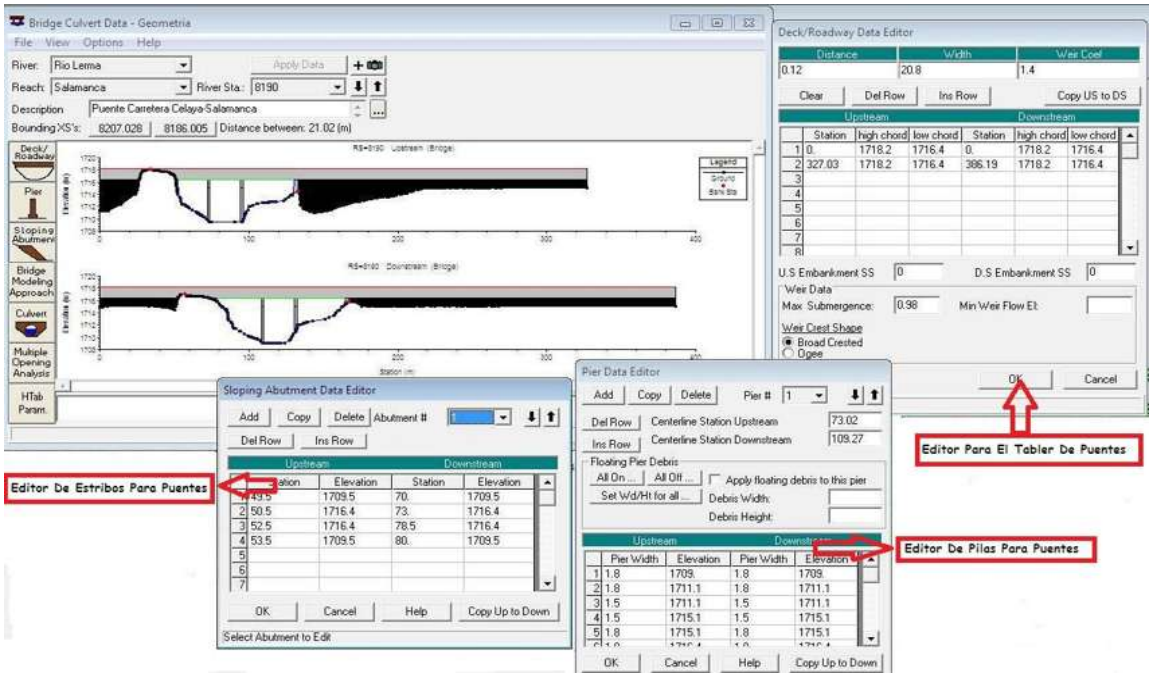

Fig. 15 Ventanas Para la Edición de Puentes en HEC-RAS

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

Para el caso de la modelación las condiciones de frontera que se utilizaron fue la de pendiente promedio “Normal Depth” con un valor de 0.000125 aguas arriba y de 0.00036 aguas abajo del tramo en estudio.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

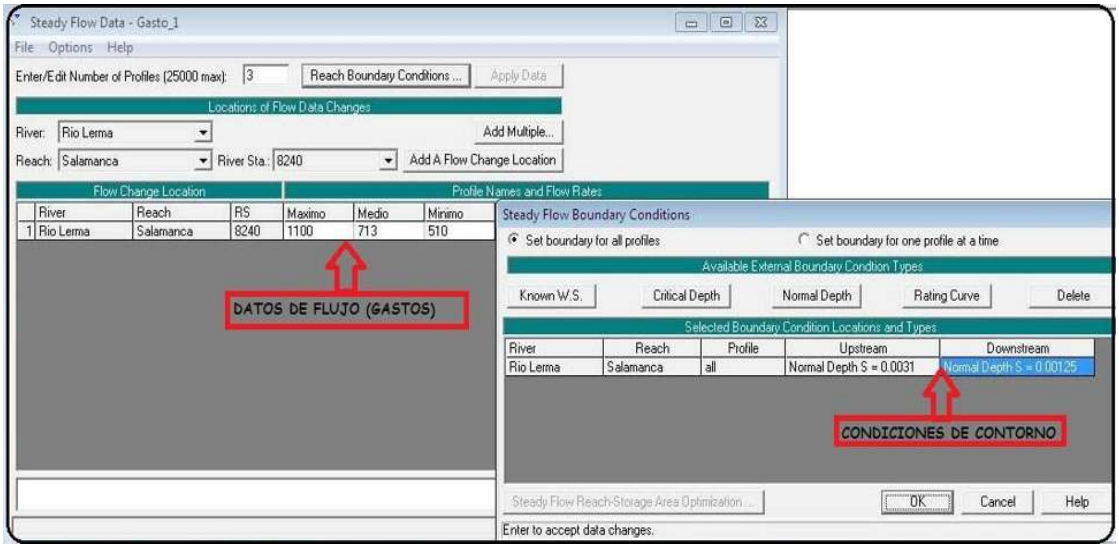

Fig. 16 Editor Para Introducir Las Condiciones de Frontera y Datos de Flujo

Esta ventana además nos presenta los gastos introducidos en la modelación para cada uno de los escenarios. Para la modelación se propusieron diferentes escenarios respecto a estudios previamente realizados por la Comisión Nacional de Agua (CNA) para el encausamiento y un gasto máximo registrado en la estación hidrométrica que se encuentra en el centro del tramo en estudio.

5.6.1. Calibración Del Modelo

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

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

Para la calibración del modelo se realizó a través de la estación hidrométrica que se encuentra en el cauce, con los registros históricos que se tiene con un máximo de 510 m3/s registrado en Agosto de 1958 con un tirante de 7.17 m, y en el calculado a través de la modelación se alcanzó un tirante de 5 .31m se tiene una diferencia de 1.5 m, de lo cual tenemos en cuenta que del año 1958 a la fecha del levantamiento topográfico que fue el 2008 han transcurrido 50 años en los cuales se han hecho rectificaciones, dragados etc., del rio, por lo cual se puede tomar como un calibración valida.

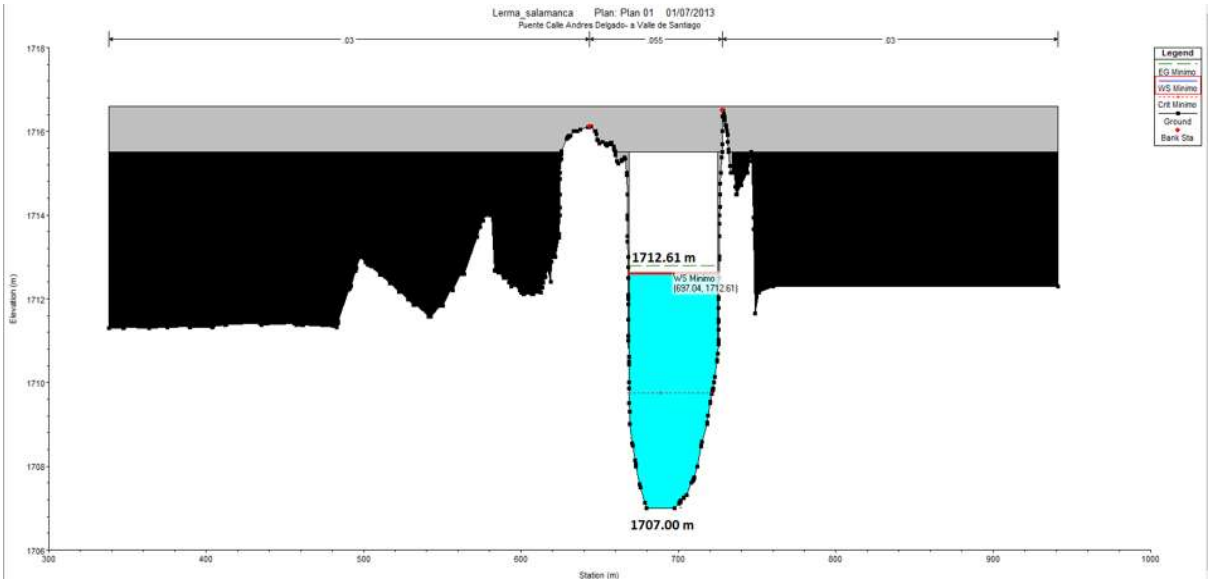

Fig. 17 Calibración del Model

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA					
SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA					
GERENCIA EN EL ESTADO DE GUANAJUATO					
ESTACION: SALAMANCA II			CLAVE: 12352		
CORRIENTE: RIO LERMA			REGION: 12 LERMA - SANTIAGO		
CUENCA: RIO LERMA			ESTADO: GUANAJUATO		
AÑO	MES	DIA	HORA	GASTO MAXIMO (m^3 /s)	LECTURA MEDIDA (m)
1941	OCTUBRE	10	6	422.600	5.02
1942	JULIO	8	22	169.000	2.5
1943	SEPTIEMBRE	27	24	392.000	5.02
1944	SEPTIEMBRE	15	6	436.400	5.51
1945	AGOSTO	30	8	184.400	2.88
1946	JUNIO	24	12	65.830	1.39
1947	JUNIO	25	24	211.400	2.92
1948	JULIO	24	13	216.000	3.56
1949	JULIO	20	11	81.000	1.6
1950	JULIO	30	13	64.400	1.4
1951	SEPTIEMBRE	16	12	135.400	2.39
1952	SEPTIEMBRE	19	10	102.000	2.9
1953	NOVIEMBRE	4	1	218.000	4.08
1954	JULIO	25	12	119.600	3.02
1955	OCTUBRE	4	2	389.200	6.14
1956	AGOSTO	27	11	205.400	4.38
1957	SEPTIEMBRE	22	24	52.900	2.36
1958	SEPTIEMBRE	21	6	510.000	7.17

Tabla. 1 Datos de la Estación Hidrométrica Salamanca II

Una vez que se modelado en HEC-Ras para cada uno de los tres escenarios se procede a analizar los resultados. A continuación se presenta cada una de las tablas de los resultados para cada uno de los escenarios.

Los resultados se dan para cada uno de los tres gastos modelados en el rio, indicándonos los efectos en los puentes, así como las secciones donde se presentan desbordamiento y las colonias que son afectadas de la ciudad de Salamanca.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

5.6.2. Resultados De La Modelación

ESCENARIO 1. En este primer escenario se modela con un gasto Máximo de que se había proyectado en para el encausamiento del rio Lerma en el tramo de la Ciudad de Salamanca Gto. Con una gasto de 1100 m^3/s.

Para ello el gasto se coloca en la primera sección aguas arriba del tramo en estudio de cadena miento 8+2400. Se observa que en a lo largo del tramo en estudio se desborda no tiene capacidad hidráulica para soportar dicho gasto.

Los niveles alcanzados por algunas secciones se muestran a continuación en la imagen.

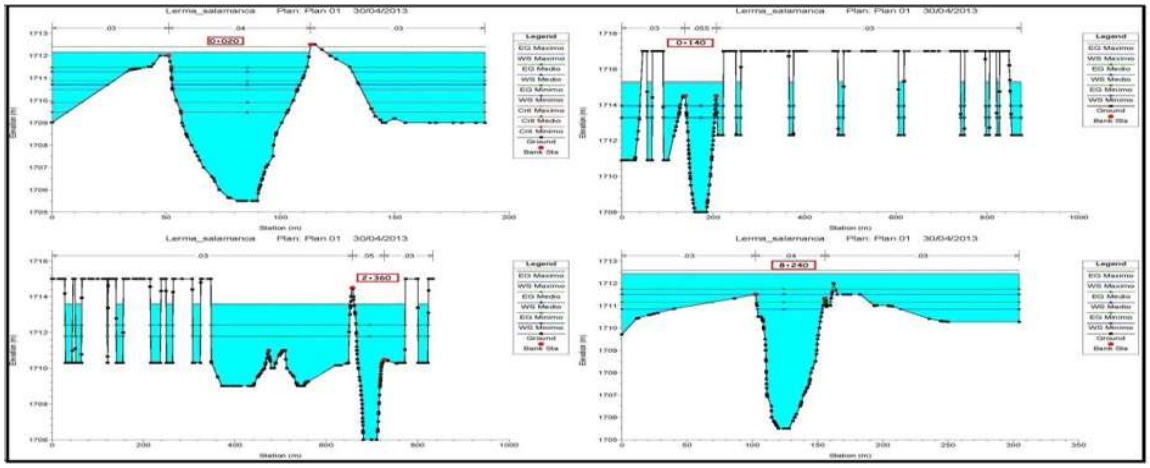

Fig. 18 Nivel de Agua en las Secciones Transversales para el Gasto de 1100 m^3/s

Los puentes no son capaces de soportar del el flujo propuesto por lo que pasan de ser solo puentes a alcantarillas que se presentan con este gasto, como se observa en la siguiente figura.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

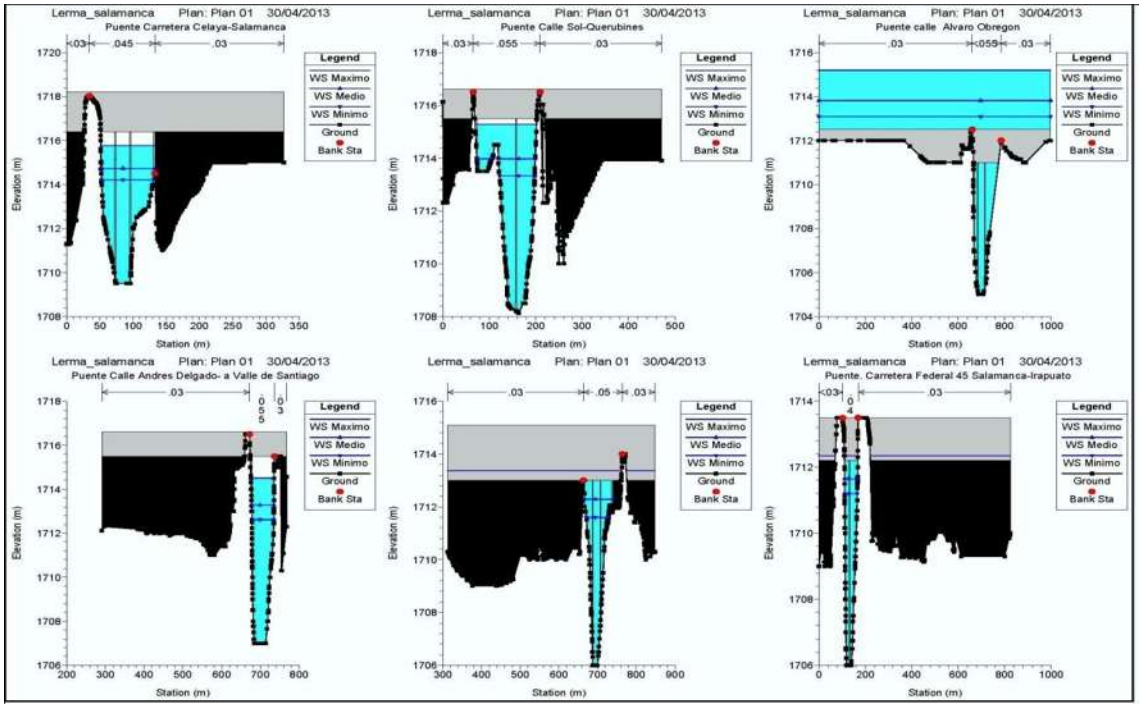

Fig. 19 Nivel del Agua Respecto a Puentes con un Gasto de 1100m^3/s

Como se pudo observar en las figuras el rio es incapaz de transportar este gasto por que su poca capacidad hidráulica que se tiene.

ESCENARIO 2. En este segundo escenario es modelado con un gasto mucho menor, de igual forma proyectado en este proyecto de encausamiento del rio Lerma en el tramo Salamanca, con un gasto de 713 m3/S. de donde se observaron que en un poco más del 50 % de las secciones se presenta desbordamiento. Como se presentan a continuación en la sig. Figuras.

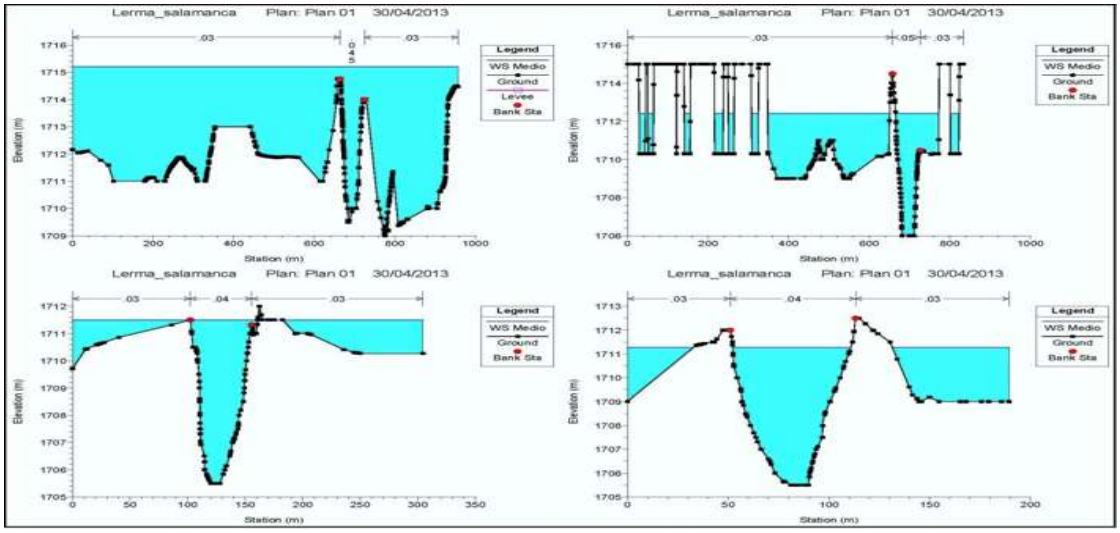

Fig. 20 Nivel de Agua en las Secciones Transversales para el Gasto de 713 m^3/s

Los puentes para este gasto la mayoría es capaces de soportar del el flujo propuesto por lo que se ve como el flujo pasa sin ningún problema en esta sección.

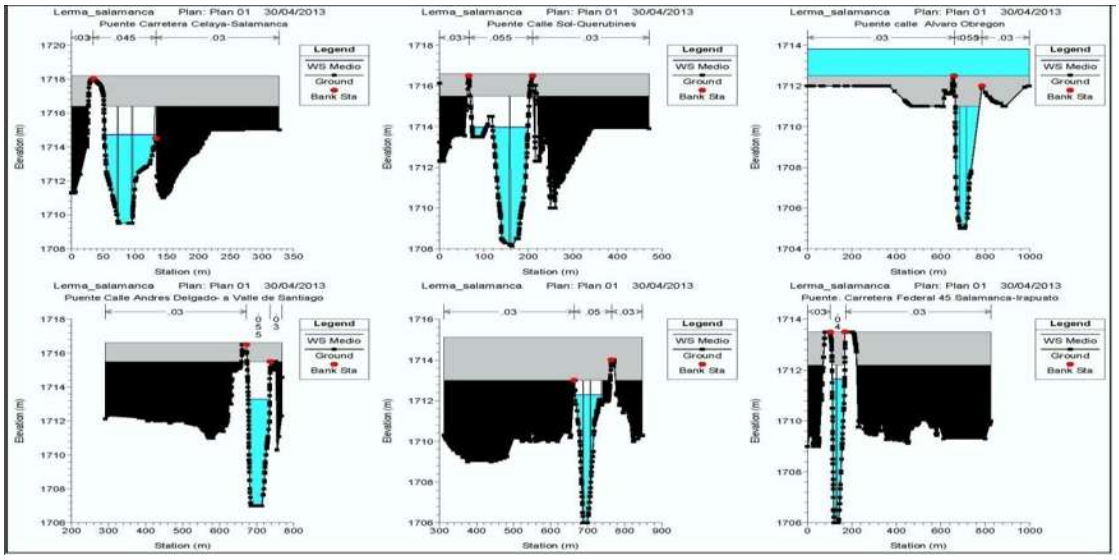

Fig. 21 Nivel del Agua Respecto a Puentes con un Gasto de 713 m^3/s

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

ESCENARIO 3. Este es el último escenario que se presenta con una gasto de 510 m^3/S que es referente del gasto máximo registrado en la estación hidrométrica que se encuentra en el centro del tramo de rio Lerma y con el que fue calibrado, con este gasto son muy pocas las secciones que presentan desbordamiento, los que se presenta es en el margen Izquierdo del rio el cual en su mayor parte son zonas agrícolas, y por causa que los bordos han sido erosionados y destruidos por el hombre para ganarle terreno al rio. A continuación se presentan las imágenes de las zonas de desbordamiento y los niveles alcanzados en los puentes.

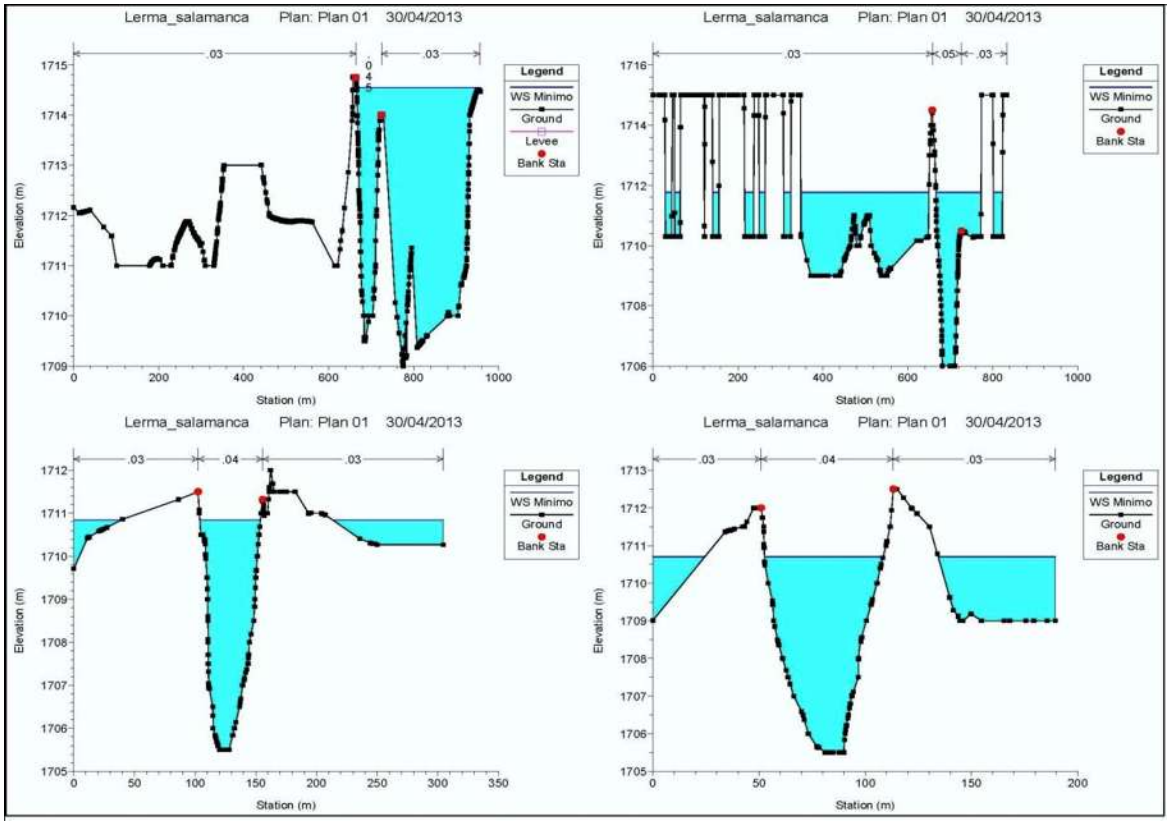

Fig. 22 Nivel de Agua en las Secciones Transversales para el Gasto de 510 m^3/s

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

En este caso los puentes son capaces de soportar el gasto sin ningún problema, y no tienen alguna afectación en cuanto a las inundaciones provocadas por este gasto modelado.

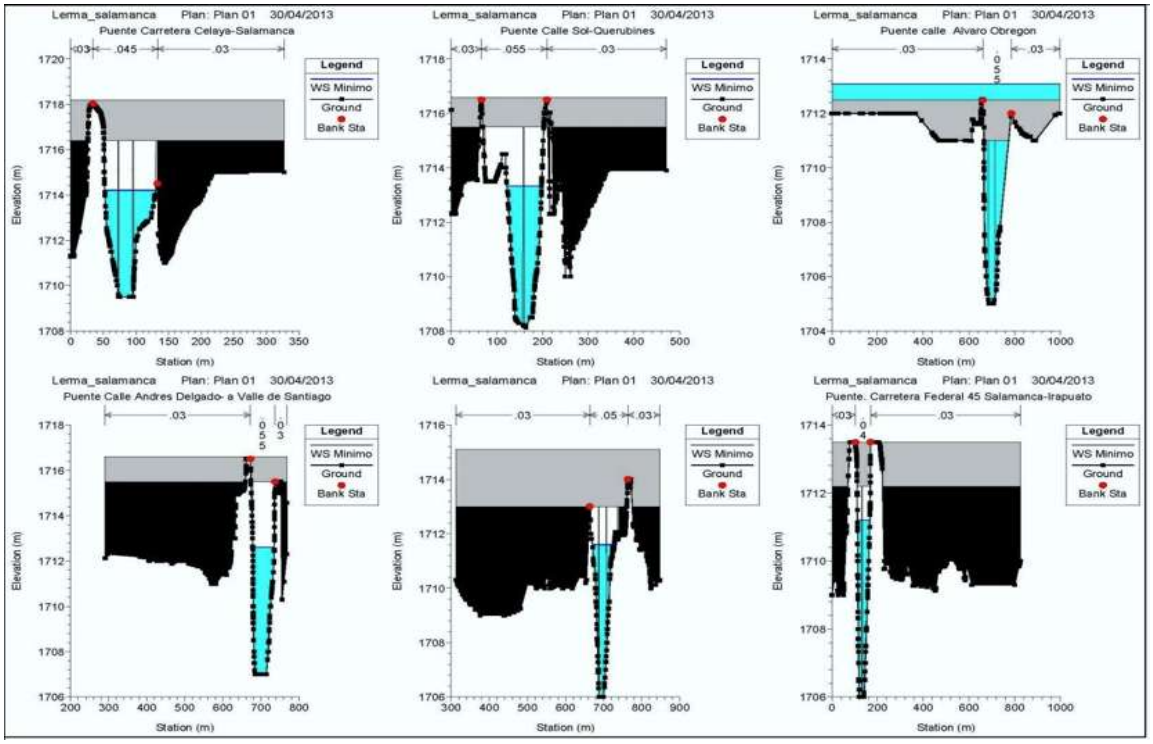

Fig. 23 Nivel del Agua Respecto a Puentes con un Gasto de 510 m^3/s

5.6.3. Generar Datos Para Exportar

Los datos que se generan para exportar de HEC-RAS son en formato GIS que pueden ser leídos en Arc View mediante las extensiones de trabajo de Geo-RAS que fue desarrollada por el mismo departamento de ingeniería de ejército de los Estados Unidos. En esta parte del proceso se indican los elementos que se desean exportar para ser modelados en el siguiente proceso, que es el de la modelación de la superficie de inundación y posteriormente la elaboración de los mapas de inundación.

En la imagen se muestra la ventana de salida de HEC-RAS donde se puede seleccionar los datos que se deseen exportar, como datos de flujo, coeficientes de Manning, estructuras, zonas inefectivas, etc.

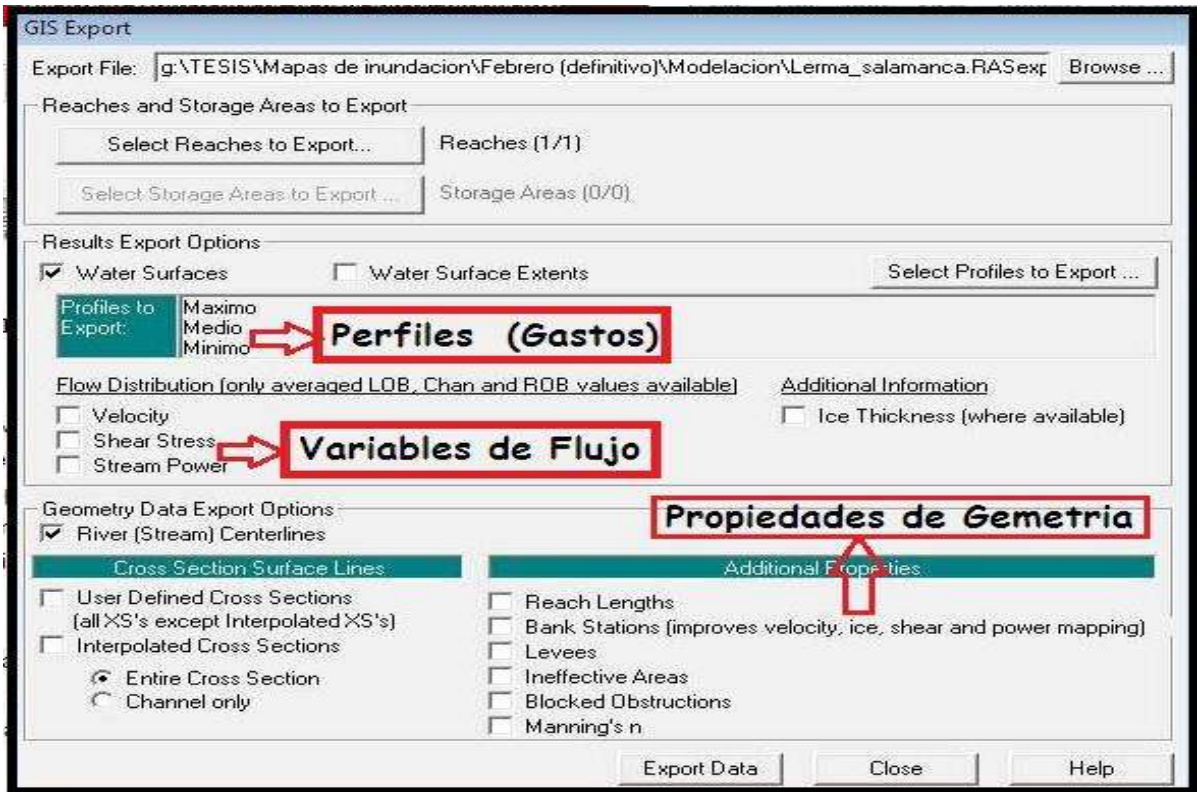

Fig. 24 Ventana Para Exportar de HEC-RAS en Formato GIS

5.7. MODELACION DE LA SUPERFICIE DE INUNDACION EN Arc View

Para la modelación de la superficie de inundación después de que se generan los archivos creados sobre la modelación en HEC-RAS, se trabajan en el software Arc View mediante la extensión de Geo-RAS (PreRAS).

Los archivos se cargan extrayendo la información necesaria para su elaboración, se extra los archivos del TIN, las secciones transversales, el cauce del rio, los

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

planes (gastos modelados), alturas de la lámina de agua, creando de esta forma archivos en formato SHP. Con los formatos creados comienza la edición de los mapas o cartografía de inundación, mediante la creación de layout, dándole formatos y presentación a cada uno en particular.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

CAPITULO 6

6. ANALISIS Y RESULTADOS

6.1. ANÁLISIS GENRAL

Como se puede apreciar podemos realizar un análisis general de los procesos realizados en el trabajo debido a que se llevaron varios a lo largo de todo el trabajo, en primer lugar se desarrolló una metodología para la determinación de mapas de inundación mediante un proceso Hidrológico-Hidráulico, partiendo de las metodologías ya existentes, con algunos cambios y/o modificaciones que se llevan a cabo en los proceso intermedios que arrojan resultados mejorados y en ocasiones resultados distintos, se obtienen resultados favorables.

Con los resultados obtenidos de la creación de la metodología que fueron de manera favorables se pudieron aplicar a una zona en estudio en particular de la cual se presentaran a continuación un análisis en particular para cada escenario que se modelo presentando los resultados obtenidos.

Cabe mencionar que lo resultados son favorables por que dan una representación de las condiciones que se pueden tener si se presentan estas condiciones de flujo en el cauce natural.

6.2. ANÁLISIS Y RESULTADOS PARTICULARES DE LOS ESCENARIOS MODELADOS

La longitud de secciones es de 700 m a partir del centro del cauce principal en ambos márgenes del rio, se trató de extender lo más posible para abarcar la proporción de terreno mayor para dar una resultado más cercano con la

realidad cuando se presente estas condiciones, debido a que se realizó la modelación con un software, que realiza cálculos en una sola dimensión por lo que se puede tomar con un poco margen de error en cuanto a las condiciones reales.

El tomar las distancia mayor probable de las secciones, esto con la finalidad de forzar que el tirante llegara a su nivel mínimo, representando el alcance real que puede tener las zonas de inundación, debido a la complicaciones que se tuvieron con HEC-RAS con la limitaciones de 500 puntos para la edición de las secciones trasversales, hace imposible la caracterización de todo la zona de estudio, presentándose al final de todas las secciones calados (tirantes) mayores a 1 m.

Una de las características o diferencias que se presenta en cuanto a la mayoría de las modelaciones existentes es que cuando se representaba la zona de inundación se le adjuntaba una imagen de la zona en estudio, y se observaba como la inundación cubría todas las zonas aledañas, aun teniendo caldos de 0.5 m por lo que se tenía una incertidumbre de que es realmente lo que se tenía dañado.

6.2.1. Escenario 1 Gasto de 1100 m^3/s

Producto de las modelaciones que se realizó para un gasto de 1100 m3/s, se puede observar que para estas condiciones el rio es incapaz de soportar este gasto por que viene presentando desbordamientos desde la primera sección que se modelo, esto se presenta a lo largo del tramo en estudio, observando que sobrepasa por mucho los bordos del rio.

Para estas condiciones los calados en algunas zonas alcanzaron niveles mayores a los 4 m, afectando en su mayoría las zonas que eran inundadas en su mayoría zonas urbanas colonias de la ciudad de Salamanca, Gto. Analizando que para estas condiciones se tendría una pérdida total en las

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

zonas afectadas así como, perdidas económicas y humanas si no se cuenta con un desalojo de las zonas a tiempo, que por tratarse de un rio regulado se pude anticipar su capacidad que lleva con horas de anticipación que pueden dar la oportunidad de salvaguardar lo más importante de los habitantes de la zona

6.2.1.1. Mapa de Inundación y de Altura de Lámina de Agua Para Escenario 1 Gasto de 1100 m^3/s

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

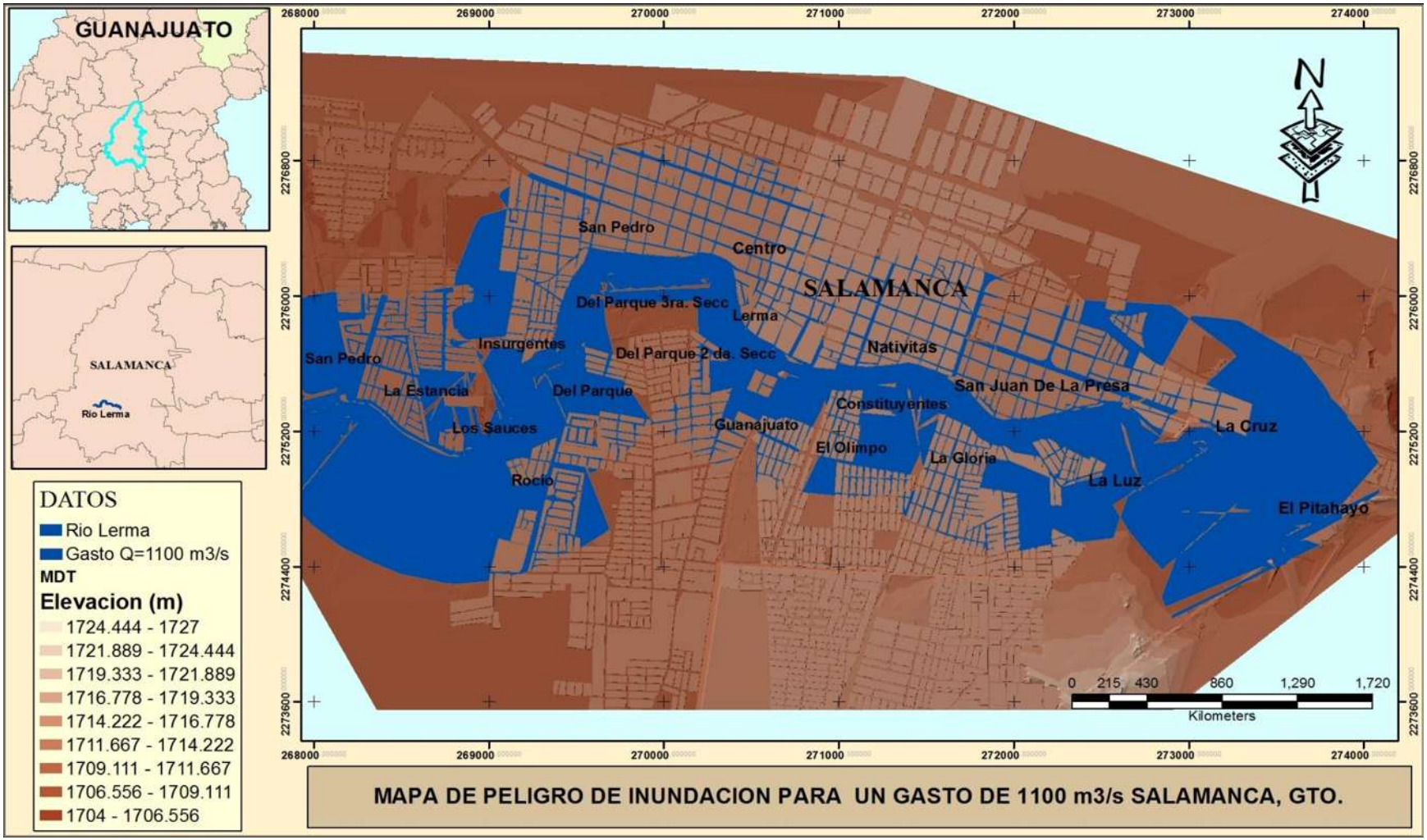

Fig. 25 Mapa de Peligro de Inundación para un Gasto de 1100 m^3/s

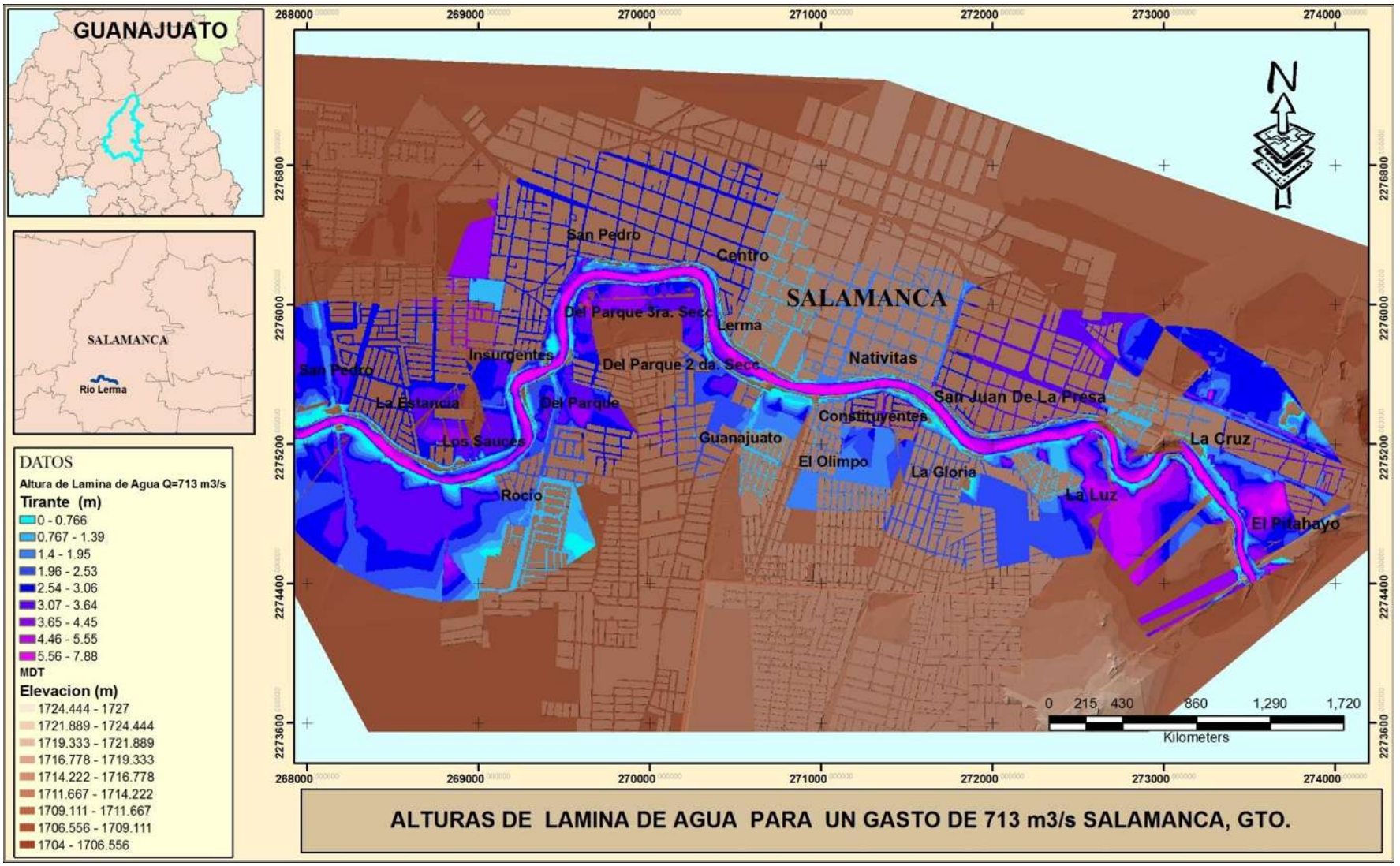

Fig.25 Mapa de Altura de Lámina de Agua para un Gasto de 1100 m^3/s

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

6.2.2. Escenario 2 Gasto de 713 m^3/s

Para el caso de cuando el cauce trasporte un gasto de 713 m3/s, con las misma s condiciones hidráulicas que el anterior, se puede observar que los niveles en las zonas donde hay desbordamiento es mucho menor debido que para estas condiciones solo se presenta desbordamiento en las zonas donde los bordos son muy bajos y se encuentran a niveles de terracerías y calles.

Para estas condiciones las afectaciones son en menor grado, sin dejar de mencionar que, siguen causando daños severos a lo largo de la zona de estudio, por lo que es necesario tomar precauciones si se puede presentar una avenida con estas condiciones.

6.2.2.1. Mapa de Inundación Para Escenario 2 Gasto de 713 m^3/s

Fig. 266 Mapa de Peligro de Inundación para un Gasto de 713 m^3/s

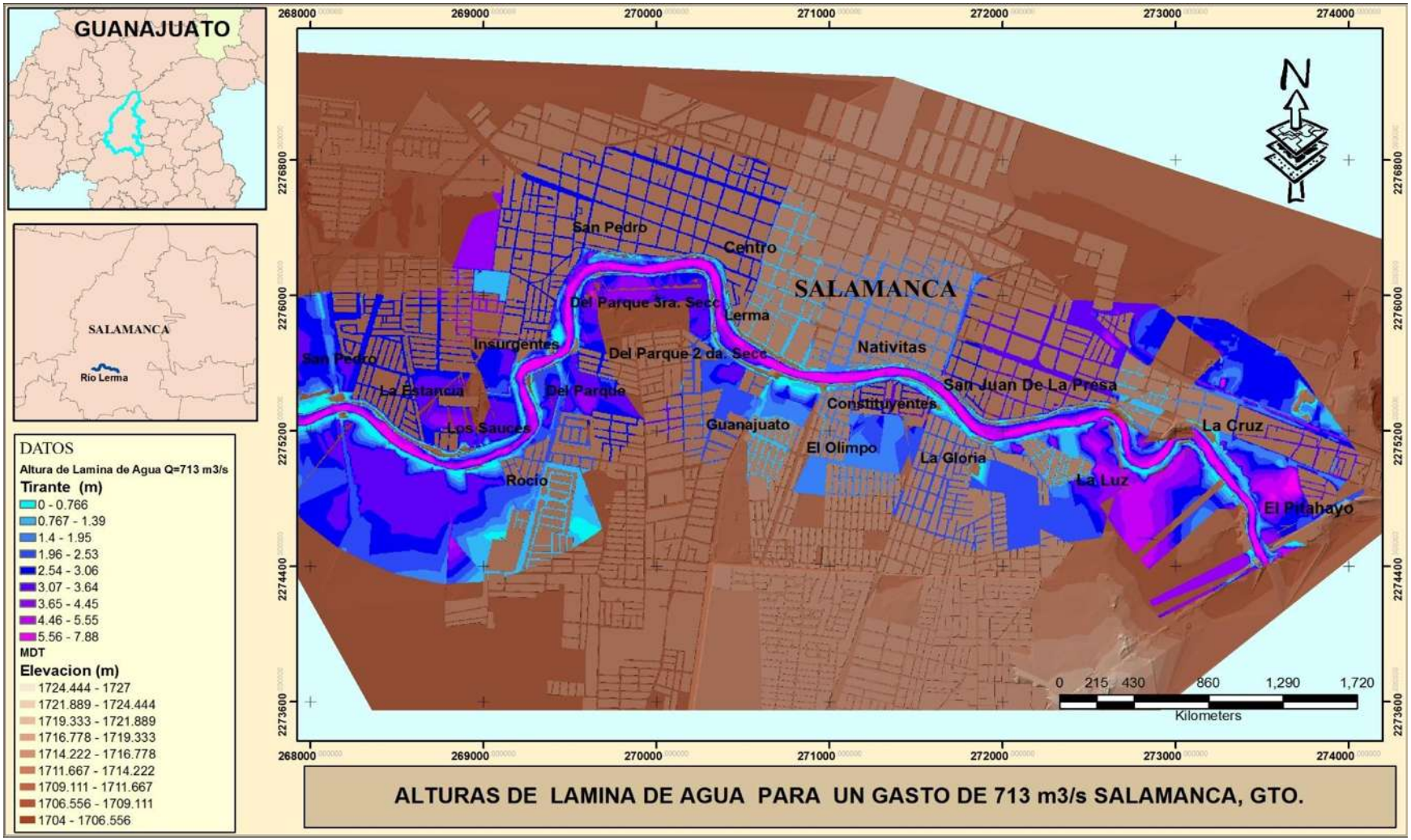

Fig. 277 Mapa de Altura de Lámina de Agua para un Gasto de 713 m^3/s

6.2.3. Escenario 3 Gasto de 510 m^3/s

En el último escenario se presenta un gasto máximo que se registrado en el año de 1958, que es de los que se tienen registro en la estación hidrométrica que se encuentra en el cauce, en este caso es un gasto que no presenta muchos problemas de desbordamiento a lo largo del cauce, solo en las zonas donde se encuentran bordos a nivel de calles, pero alcanzando niveles no muy altos y que pueden ser controlados con facilidad, implementando algunas obras de contención.

Las zona más afectada para este gasto es la zona agrícola que es la que se ve con mayor afectación en y donde se presentan los niveles más altos de calado, en el cual se observa que de ocurrir una avenida de esta magnitud el cauce no es capaz de soportar este caudal y esta zona se vería afectada teniendo como resultado la pérdida total o parcial de la zona

6.2.3.1. Mapa de Inundación Para Escenario 3 Gasto de 510 m^3/s

Fig. 288 Mapa de Peligro de Inundación para un Gasto de 510 m^3/s

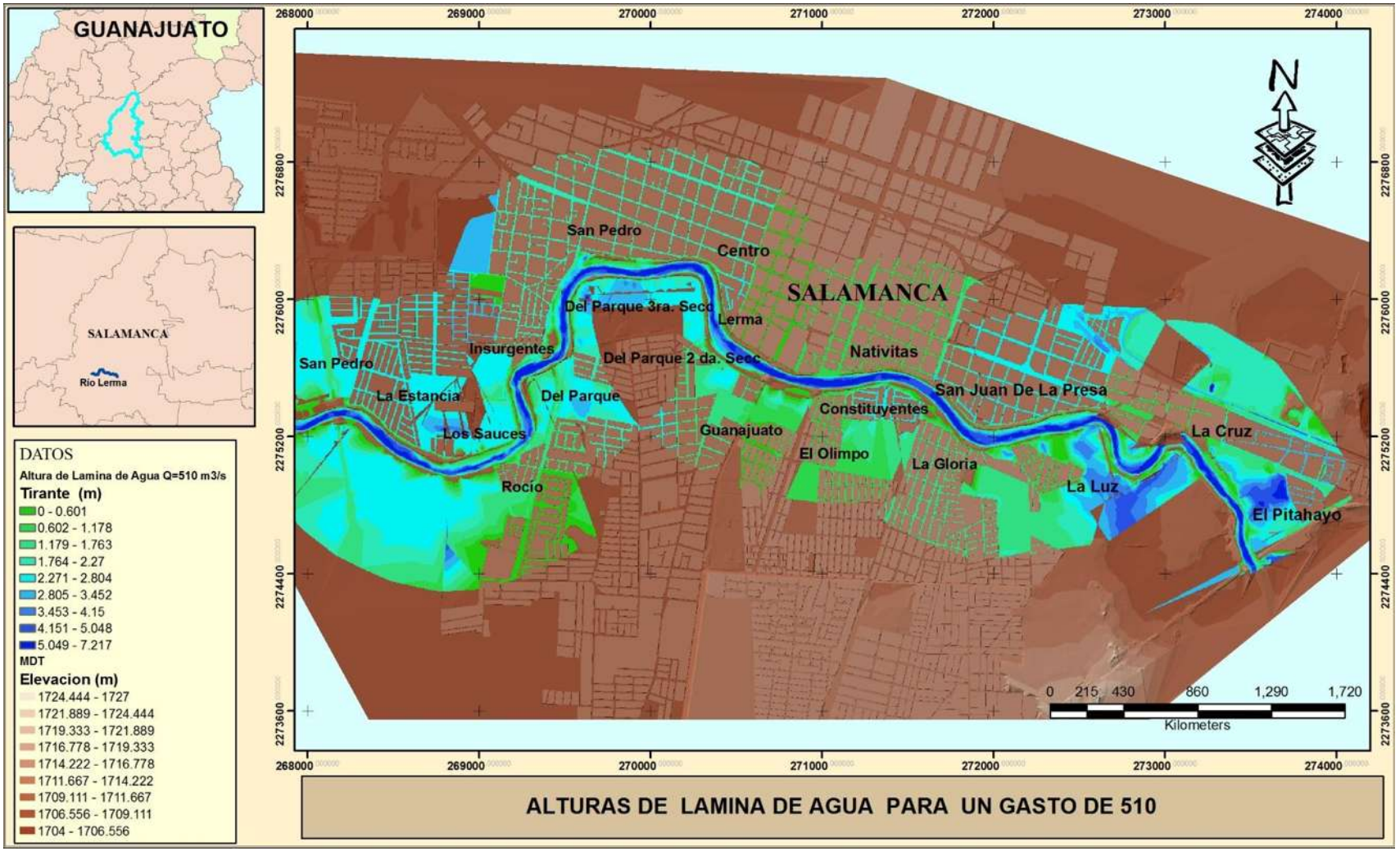

Fig. 299 Mapa de Altura de Lámina de Agua para un Gasto de 510 m^3/s

CAPITULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- Para la metodología una vez desarrollada y aplicada a una zona en particular se obtuvieron resultados favorables, obteniendo los mapas de inundación de la zona en estudio.

- La metodología en particular permite desarrollar con facilidad los mapas de inundación, teniendo los conocimientos previos de manejos de las herramientas informáticas, de HEC-RAS, Arc View o en su defecto Arc GIS, Auto CAD, además contar con la información necesaria para su elaboración.

- Por ultimo para la metodología cabe mencionar que tenemos la limitante de utilizar un software que trabaja en una sola dimensión por lo que hay que tener cuidado al manejo de sus resultado, tener un análisis previo de cada resultado, sin olvidar que se deben realizar la calibraciones del modelo previo para el ajuste necesario.

- La afectaciones que se han presentado en la ciudad de salamanca nos por los diferentes eventos trascurridos a lo largo de los años y que en el más reciente presentado en el 2003, y por la colaboración de personal de CNA delegación Guanajuato que se podido realizar la aplicación de la metodología en esta zona.

- El crecimiento y la invasión de las zonas federales del cauce la presencia de algunas zonas utilizadas pare cosechar productos agrícolas han hecho que las condicione hidráulicas del cauce se vean

afectadas y reduzcan su capacidad hidráulica, provocando de esta manera los desbordamientos e inundaciones en las zonas aledañas.

- Otro problema grabe son las malas acciones de algunas dependencias dedicadas a la recuperación y mantenimiento del Rio Lerma, debido a que presentan abundante vegetación en el centro del cauce, alterando las características hidráulicas de rugosidad, esto aunado a la invasión de la sociedad al cauce produce una alteración a su capacidad hidráulica.

- En cuanto a los gasto proporcionados por Comisión Nacional del Agua CNA delegación Guanajuato, que fueron obtenidos de un proyecto con el objetivo de analizar una elevación de los bordos de los márgenes del rio, para aumentar su capacidad hidráulica, se puede concluir que es infinitamente inviable realizar este proyecto porque el nivel que sobrepasa el agua para estos gastos en algunas secciones del rio es mayor a los 2 m.

- Una vez que se realizaron las modelación del Rio en la zona de salamanca se observa que las capacidad del cauce están por debajo de las capacidades hidráulicas que debería tener el rio siendo un afluente principal y que capta el agua de los afluentes a todo lo largo de su recorrido, provocando el aumento de su flujo y de esta manera provocando los desbordamientos.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

7.2. RECOMENDACIONES

- Para la metodología se recomienda que se cuente con los conocimientos de las herramientas informáticas utilizadas, contar con la información necesaria para el desarrollo y la aplicación de la metodología.

- La información topográfica debe ser un levantamiento cuando amenos a cada 0.50 m para tener una representación más precisa del terreno que se desea modelar.

- La calibración de los modelos es muy importante para que los resultados obtenidos sean de mayor confiabilidad, tomando en cuenta las capacidades del software que se están manejando para la realización de los mapas de inundación.

En cuanto a los resultados y a los mapas de inundación presentados se pueden realizar recomendaciones enfocadas a la protección del para evitar este tipo de problemas.

- Conociendo las características y capacidades hidráulicas del rio y las zonas que pueden ser afectadas cuando se presenten condiciones de flujo como las modeladas, contar con un plan de evacuación para proteger la integridad de las personas.

- Realizar proyectos para hacer canales de derivación o lagunas de retención que ayuden a evitar la crecida del rio y mantener el excede te flujo por un tiempo determinado hasta su control.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

- Recuperar todas las zonas que han sido invadidas por los civiles para utilizarlas como zonas sembradíos, provocando disminución de las condiciones hidráulicas.

P.I. C. ALEJANDRO GARCIA CONCHA Email: iciagacon49810@gmail.com

CAPITULO 8

8. REFERENCIAS

E. Bladé, M. Sánchez, H. P. Sánchez, D. Niñerola, M. Gómez. MODELACION NUMERICA EN RIOS REGIMEN PERMANENTE Y VARIABLE “Una Visión a Partir del Modelo HEC-RAS”: UPC, 2009.

HEC-RAS River Analysis System. User´s Manual. Version 3.1. Davis (CA): U.S. Army Corps of Engineer,2008

A Díez Herrero, L. Laín Huerta, M. Llorente Isidro. MAPAS DE PELIGROSIDAD POR AVENIDAS E INUNDACIONES “Guía Metodológica para su Elaboración”: INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 2008

A Díez Herrero, L. Laín Huerta, M. Llorente Isidro. MAPAS DE PELIGROSIDAD POR AVENIDAS E INUNDACIONES “Métodos, experiencias y aplicaciones”: INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 2006.

Erasmo Alfaro Rodríguez, Ricardo Alfaro González, Martha Patricia Medina PROPUESTA METODLÓGICA PARA LA GENERACION DE MPAS DE INUNDACION Y CLASIFICACION DE AMENZA: ARTICULO, 2007