

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

ANALISIS HIDROLÓGICO DE LAS CUENCAS DE APORTACIÓN A LA ZONA
URBANA DE SALAMANCA, GTO.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

HERRERA ANAYA FRANCISCO JAVIER

Santiago de Querétaro, Diciembre 2011



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil

ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE LAS CUENCAS DE APORTACIÓN A LA ZONA URBANA
DE SALAMANCA, GTO

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

Ingeniero Civil

Presenta:

Herrera Anaya Francisco Javier

Dirigido por:

Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco

SINODALES

Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco

Presidente

Dr. Nabil MobayedKhord

Secretario

M. en I. Filiberto Luna Zuñiga

Vocal

Dr. Enrique Gonzales Sosa

Suplente

Firma

Firma

Firma

Firma

Dr. Gilberto Herrera Ruiz
Director de la Facultad

Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos
Director de Investigación y
Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Diciembre, 2011
México

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad realizar un análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la ciudad de Salamanca, Guanajuato, con el fin de tener una base de lo que sucede en dichas cuencas y con esto llevar a cabo acciones para evitar que la ciudad se inunde. El río Lerma cruza la ciudad y es causante, en gran medida de las anegaciones mencionadas, por ello su cuenca se convierte en la base fundamental de este estudio. Siendo la cuenca del río Lerma una de las más grandes del país y con el fin de facilitar este análisis, se redujo la zona de estudio a partir de la Presa Solís en Acámbaro, Gto. Así mismo, caben mencionar las acciones que se implementaron para poder llevar a cabo este estudio: Se usó el programa Arc Gis para la delimitación de las cuencas a partir de modelos digitales de elevaciones (MDE); se hizo un análisis de las estaciones climatológicas de la zona que tuvieran más de 30 años de registro y 80% de datos completos, extrayendo su lluvia máxima anual de todos los años de registro; se crearon series de datos para hacer un análisis de frecuencia con el software SEAF y así obtener lluvia para diferentes periodos de retorno; se construyó un modelo en el programa HEC-HMS donde se representó a la cuenca y se calibró con eventos reales obtenidos del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS), y por último se simuló diferentes eventos para analizar el comportamiento del sistema en diferentes escenarios que se pueden presentar y ver las posibles consecuencias en la ciudad de Salamanca.

(Palabras clave: cuenca, análisis, inundación, lluvia, eventos)

SUMMARY

Hydrological analysis was performed for the basins of contribution to the city of Salamanca, Guanajuato, in order to have a basis of what happens in these basins with it take action to prevent the city from being flooded. The Lerma River crosses the city and is caused largely by the waterlogging above, therefore, its basin becomes the fundamental basis of this study. As the Lerma River one of the largest in the country to facilitate the analysis, the study area decreased from Solis Dam Acambaro, Gto. We used programs such as Arc GIS for watershed delineation from digital elevation models (DEM). It was an analysis of weather stations in the area that had over 30 years of records and 80% complete data, extracting the maximum annual rainfall of all their years of registration data sets were created to make a frequency analysis with SEAF software and get rainfall for different return periods. Built a model in HEC-HMS which represent the watershed and was calibrated with actual events from the National Data Bank of Surface Water (BANDAS). Different events were simulated to determine avenues of design and different scenarios that may occur in the city of Salamanca.

(Keywords: basin analysis, flood, rain, events)

Dedico este trabajo a mi familia, a Dios y a todas las personas importantes en mi vida

AGRADECIMIENTOS

Dicen que es cuestión de creer o no creer, yo elijo creer; porque he comprobado que eres la fuerza que siempre me alienta cuando parece que no hay salida en este laberinto que llamamos vida, y porque me enseñaste una frase que siempre llevo y llevaré conmigo: “Ayúdame que yo te ayudaré” ... Gracias, Dios.

A mis Padres: Sara Anaya y Francisco Herrera... Ningunas palabras en mi boca serian suficientes para agradecer todo lo que han hecho por mí desde el día en que me regalaron la vida.

A mis hermanas Ana Gricel y Lourdes, por compartir momentos, por sus consejos y por su apoyo en todo momento.

A mis tíos y primos, que compartieron conmigo muchos buenos momentos durante el periodo que estuve estudiando.

A aquella familia que se conoce en las aulas, con la que a veces se pasa mucho más tiempo y comparte contigo los triunfos y las derrotas... a todos mis amigos que me hicieron pasar tan buenos momentos, esos momentos que no se quedaron encerrados en las 4 paredes del aula sino que los llevo para siempre dentro de mí.

A mis profesores, que conocí a lo largo de mi formación académica, porque estoy seguro que de todos aprendí algo que llevaré por el resto de mi vida, aunque no haya sido precisamente algo académico.

A mi universidad, que fue más que una casa y quien le debo lo que soy.

Al Dr. Aldo Ramírez, por compartir conmigo sus conocimientos y guiarme para sacar adelante este trabajo.

A todos quienes de manera directa o indirecta participaron en la elaboración de este trabajo.

Por esto y mucho, mucho más

GRACIAS

INDICE

	pag.
1. INTRODUCCION	1
1.1.-Definición y formulación del problema	1
1.2.- Hipótesis y Objetivos	3
2.- UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	4
2.1.- Localización y descripción de Salamanca Gto.	4
2.2.- Descripción de la zona de estudio	7
3.- ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PROBLEMÁTICA	25
3.1.- Antecedentes	26
3.2.- Descripción general de la problemática	
4.- RECOPILOCIÓN DE LA INFORMACIÓN	30
4.1.- Topografía (MDE)	30
4.2.- Estaciones climatológicas	33
4.3.- Información hidrométrica	37
4.4.- Información de la presa Solís	38
5.- IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO	44
5.1.- Generalidades	44
5.2.- Delimitación de subcuencas	45
5.3.- Análisis de datos de precipitación	53
5.4.- Construcción del modelo en HEC-HMS	58
5.4.1.- Modelo de cuenca	58

	pag.
5.4.2.- Modelo meteorológico	74
5.4.3.- Especificaciones de control	80
5.4.4.- Calibración del modelo	81
6.- SIMULACIÓN DE ESCENARIOS	106
6.1.- Escenario Base 1: Resultados Para los diferentes periodos de retorno considerando que no hay aportación de la presa Solís.	106
6.2.- Escenario base 2: Simulación de eventos “pequeños” con hidrograma de entrada de 10% de la avenida (220m ³ /s) de diseño del vertedor de la presa Solís y con obra de toma a su máxima capacidad.	113
6.3.- Escenario base 3: Simulación de eventos “medianos” con entradas del 25 y 50% del hidrograma de diseño del vertedor para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años y con la obra de toma a su máxima capacidad.	116
6.4.- Escenario base 4: Simulación de eventos “grandes” con entrada correspondiente a la avenida de diseño del vertedor para periodos de retorno de 200 y 1000 años y con la obra de toma a su máxima capacidad.	123
7.- ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	127
8.- CONCLUSIONES	132
9.- REFERENCIAS	133
APENDICE	134

ANÁLISIS HIDROLOGICO DE LAS CUENCAS DE APORTACIÓN A LA ZONA URBANA DE SALAMANCA, GTO.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Definición y formulación del problema

La ciudad de Salamanca, Gto. Se ha visto sujeta en forma frecuente a diversos problemas relacionados con anegamientos e inundaciones urbanas, tanto derivados de la falta de capacidad en el desalojo de las aguas pluviales que se precipitan dentro de la zona urbana como de eventuales desbordamiento del río y los drenes que se ubican en la zona urbana.

Los problemas de inundaciones han sido de tal magnitud que en ocasiones la propia carretera federal ha visto suspendido su tránsito.

Se considera que el río Lerma es el principal cauce y que debido a sus crecidas es que la ciudad de Salamanca sufre dichos estragos, de ahí la importancia del análisis de la cuenca de dicho río.

Las autoridades han tomado conciencia de esta problemática y han establecido ya algunas acciones tendientes a su solución. Así, en reuniones técnicas llevadas a cabo entre la Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Salamanca (CMAPAS), la Secretaría de Desarrollo Urbano y el Centro de Investigaciones del Agua de la Universidad Autónoma de Querétaro (CIAQ), se han sentado las bases técnicas de los proyectos necesarios para la atención de la problemática.

Es en el sentido de realizar los estudios técnicos necesarios para solucionar la problemática de las inundaciones asociadas con el escurrimiento en el río y los encharcamientos en la zona urbana, que se plantea la presente propuesta. En ella se incluyen los términos técnicos en que se basará el desarrollo del diagnóstico como primer paso en la solución de los problemas.

La cuenca del río Lerma es una de las más importantes del país, ya que el río comienza desde el Estado de México y termina en el Lago de Chapala, para posteriormente continuar con su cauce hasta el océano Pacífico donde es nombrado el río Santiago. La cuenca del río Lerma es muy grande, aunque para nuestro estudio solo se considerará lo que sucede hasta la ciudad de Salamanca y dado que la extensión de la cuenca sigue siendo muy grande, y para los fines que persigue este trabajo se ha decidido reducir el área de análisis a las subcuencas de aportación ubicadas después de la presa Solís, que se encuentra en el municipio de Acámbaro, Gto, suponiendo que todo el escurrimiento del río Lerma se regula ahí y posteriormente continúa por su cauce hasta la ciudad de Salamanca. En este sentido, la presa Solís representa un control de la cuenca de aportación y pueda tomarse como frontera de la cuenca de estudio.

Los análisis hidrológicos, son de gran importancia porque proporcionan información que puede ser usada para diferentes objetivos, como en nuestro caso para el control de inundaciones.

De este tipo de estudios se han realizado una gran cantidad para diferentes fines. Se podría citar, por ejemplo, un estudio hidrológico realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para el municipio de Jiutepec Morelos, el cual persiguió objetivos similares relativos al control de escurrimientos e inundaciones en esa zona. En dicho estudio se desarrollaron prácticamente las mismas actividades que se realizarán en la presente investigación.

Así mismo un estudio similar se realizó en la ciudad de Morelia. En este caso, el estudio fueron los ríos Grande y Chiquito, así como al río Queréndaro. El principal objetivo fue la rehabilitación y desazolve de dichos ríos; sin embargo, también contemplaba el tema del control de avenidas y por ende de inundaciones en las zonas urbanas de la capital michoacana.

1.2. Hipótesis y objetivos

Hipótesis: El estudio hidrológico de la cuenca de aportación del río Lerma hasta la ciudad de Salamanca proporciona elementos técnicos suficientes para efectuar simulaciones hidráulicas y para plantear acciones preventivas así como la construcción de obras para el control de las inundaciones de origen pluvial en la misma ciudad.

Objetivos de la investigación.

Objetivo general: Llevar a cabo la modelación hidrológica de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto., con objeto de definir los eventos para el proyecto y diseño de obras de protección contra inundaciones.

Objetivos específicos:

- 1.- Definir la cuenca y subcuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto;
- 2.- Analizar los datos de precipitación;
- 3.- Determinar los eventos de diseño;
- 4.- Implementar un modelo hidrológico mediante el programa HEC-HMS;
- 5.- Simular el escurrimiento para diferentes escenarios.

Una vez alcanzados estos objetivos se tendrán una visión más amplia de las acciones preventivas que se pueden realizar, así mismo se pretende dar a conocer las bases técnicas para la realización de proyectos e incluso obras de protección para evitar que la ciudad continúe teniendo problemas relacionados con inundaciones.

2. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1. Localización de la Zona de Interés

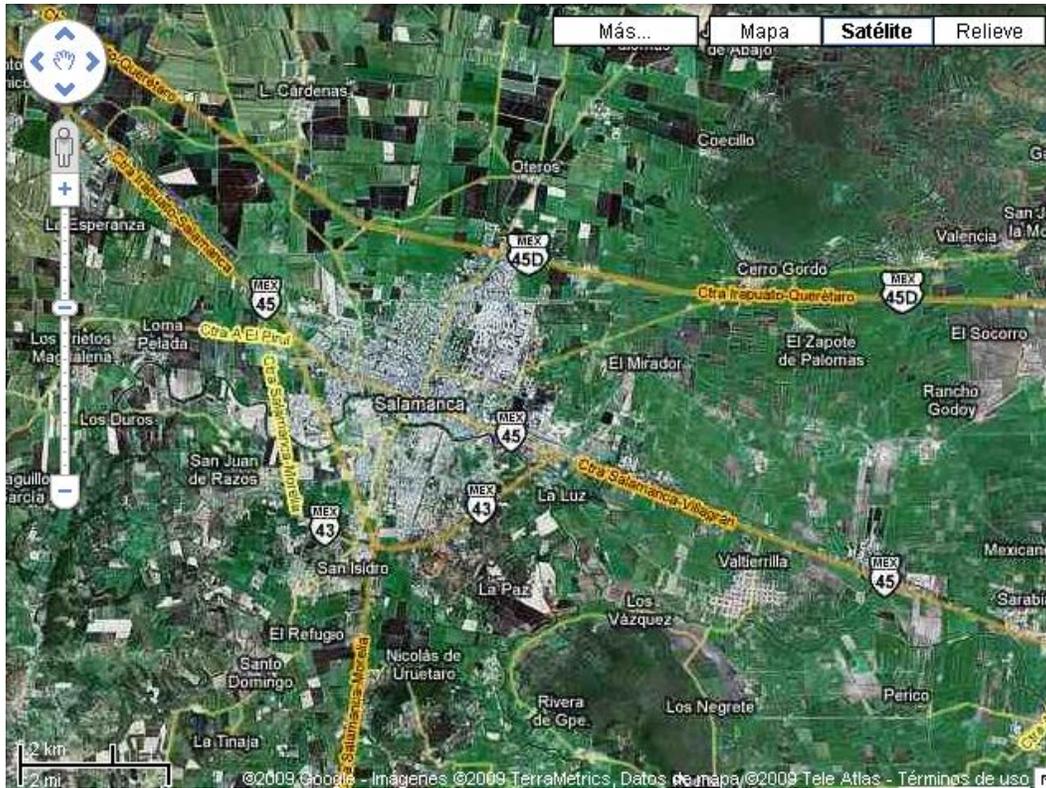


Fig. 2.1 Ubicación de la ciudad de Salamanca
maps.google.com.mx

Hablando en forma general el municipio de Salamanca se localiza en el suroeste del estado de Guanajuato. Limita al Norte con los municipios de Irapuato y Guanajuato, al Noreste con San Miguel de Allende, al Este con Santa Cruz de Juventino Rosas y Villagrán, al Sureste con Cortazar y al Sur con Jaral del Progreso y Valle de Santiago, al Oeste con los municipios de Irapuato y Pueblo Nuevo.



Fig. 2.2 Ubicación del municipio de Salamanca dentro del estado de Guanajuato
<http://www.e-local.gob.mx/>

La cabecera municipal está situada en los $101^{\circ} 11' 39''$ de longitud, al oeste del meridiano de Greenwich y, a los $20^{\circ} 34' 22''$ de latitud Norte. Su altura media sobre el nivel del mar es de 1,721 m.

Extensión: El municipio tiene una extensión territorial de 745.96 km^2 , equivalentes al 2.53% de la superficie total del estado.

Orografía: Dentro del municipio existen las siguientes elevaciones que forman parte de la sierra de las Codornices, las Cerquillas y la Hierba, las de más altura en el municipio son: Cerro Grande, Mesa Alta, Los Cieguitos, Cañada de Pasele, Cañada del Diablo, La Mesita y Los Lobos. La altura promedio de estas formaciones es de 2,000 msnm.

Hidrografía: En el norte del municipio se localizan los arroyos: Potrerillos, La Joya, Peña Prieta, el Bordo y Ortega; todos ellos afluentes al río Temascalío, que a su vez forma límites políticos con Irapuato. También se localiza la presa de El Zapote.

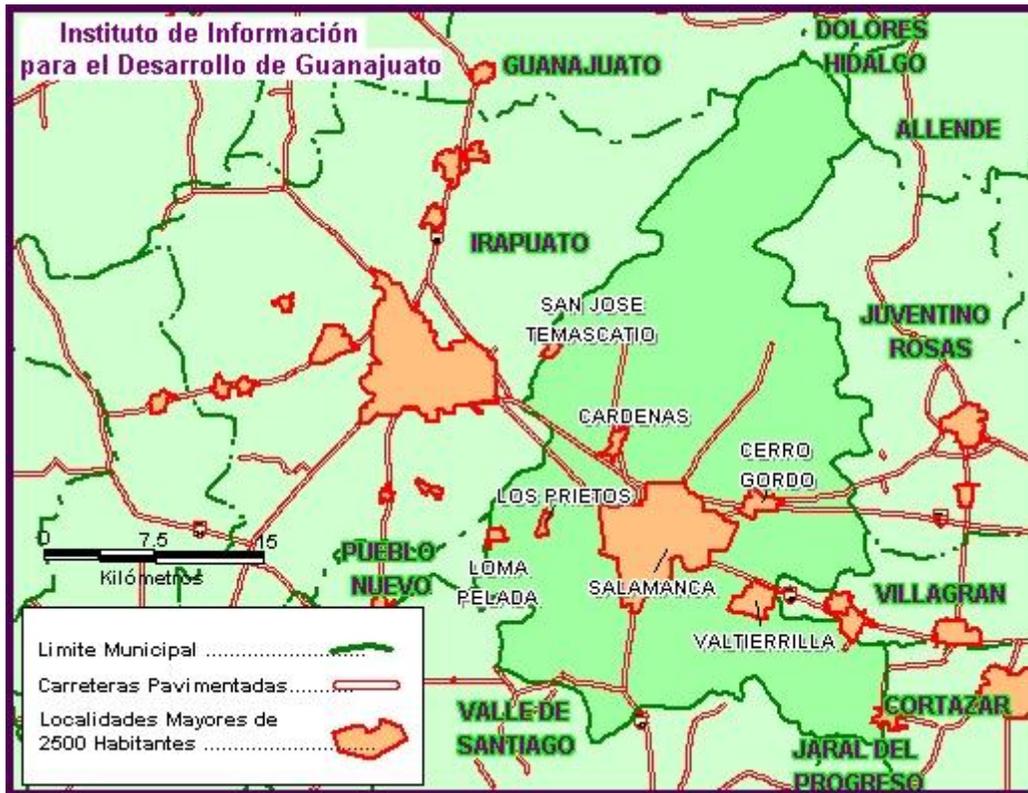


Fig. 2.3 Mapa de localidades mayores a 2500 habitantes
<http://www.e-local.gob.mx/>

El río Lerma que atraviesa el municipio de oriente a poniente, forma parte de una de las cuencas hidrológicas más importantes del país: la cuenca "Lerma-Santiago".

Clima: El clima en un 92% del territorio municipal es semicálido subhúmedo, con lluvias en verano y de humedad baja; en el resto de la superficie es templado subhúmedo, con lluvias en verano y de humedad media. Esta zona se encuentra localizada en la parte norte del municipio.

Principales ecosistemas

Flora: El territorio municipal cuenta con bosques de encino, mezquite y selva baja caducifolia. Entre las especies forrajeras, se encuentra el zacatón,

triguillo, lobo, navajita, liendrilla, mezquite, pata de gallo, de zorra, banderita y colorado. Otras especies son pingüica, sotol, nopal, huisache, gatuño, largoncillo, cuijote, tepehuaje, palo blanco, pochote, órgano, garambullo, tepame, vara dulce, casahuate y mezquite.

Fauna: La fauna está formada por conejo, tlacuache, coyote, ardilla, coralillo, alicante, zorrillo, lagartija, peces de río. Entre las aves hay zopilotes, gavilanes y palomas.

Clasificación y uso del suelo: En la región se practica la agricultura intensa, con agricultura de riego anual semipermanente en parte al norte de la ciudad de Salamanca. En el sur de la misma se tiene agricultura de temporal.

Entre los principales usos del suelo se distingue la zona industrial al norte y oriente de Salamanca; la zona del Centro Histórico, que oferta servicios básicos y medios; y el gran sector habitacional, ubicado al norte y sur del Río Lerma (www.e-local.gob.mx).

2.2. Descripción de la zona de estudio

Recordemos que se ha considerado al río Lerma como el principal cauce a estudiar. Su cuenca comienza en el estado de México, el área de estudio se considera a partir de la presa Solís, en Acámbaro.

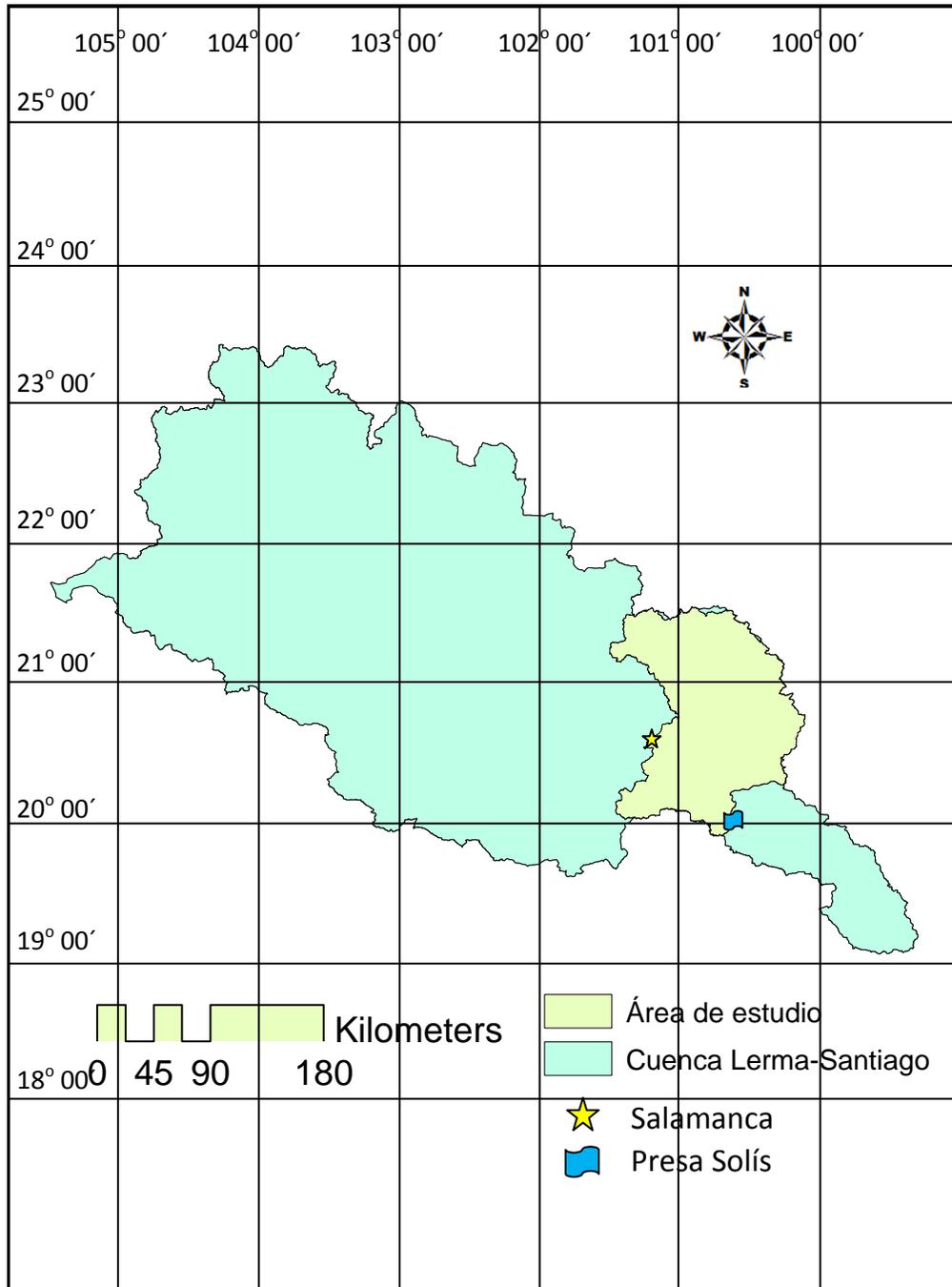


Fig. 2.4 Ubicación de la zona de estudio dentro de la cuenca Lerma-Santiago
www.conabio.gob.mx

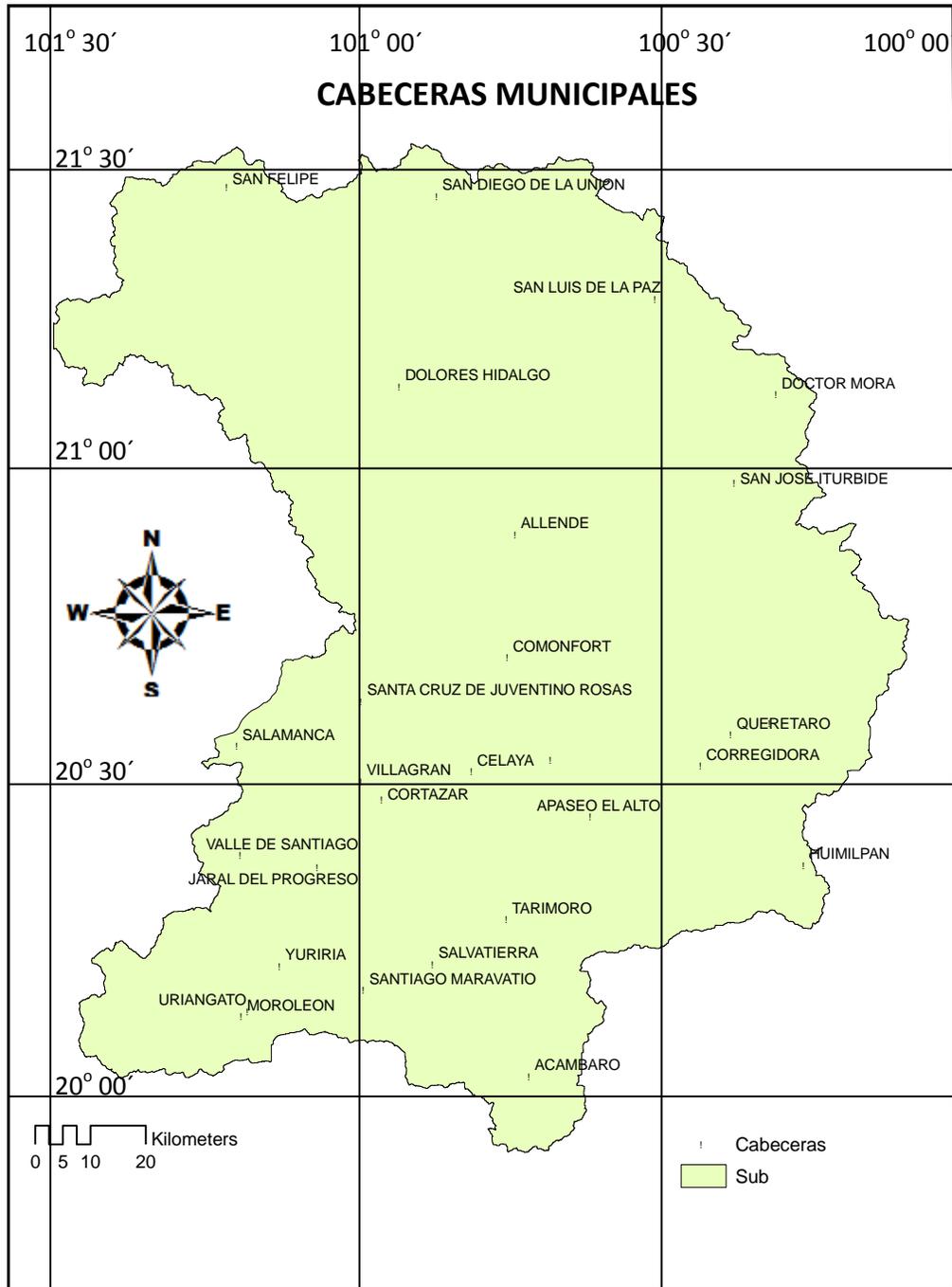


Fig. 2.5 Cabeceras municipales dentro de la zona de estudio

Como se puede apreciar, la zona de estudio abarca una buena porción del estado de Guanajuato, y sólo pequeña fracción del estado de Querétaro. El área total de la cuenca es de 15890 km² desde la presa Solís hasta la ciudad de

Salamanca. A continuación se tiene una descripción más detallada de dicha cuenca, en factores importantes que se presentan en seguida.

a) Uso de suelo y vegetación

El conocimiento del tipo de suelo y la vegetación dentro de la zona de estudio constituye un factor importante, por ello en el cuadro 2.1 se puede observar los principales usos del suelo y la vegetación predominantes en esta zona. Estos datos serán útiles más adelante para la determinación del coeficiente de escurrimiento (CN)

Entidad	Tipo	Vegetación Secundaria	Área (km ²)	Porcentaje por entidad
Área Agrícola	Agricultura de Humedad	Ninguno	78.77	53.01
Área Agrícola	Agricultura de Riego	Ninguno	3025.37	
Área Agrícola	Agricultura de Temporal	Ninguno	5319.51	
Área Agrícola – Pastizal	Agricultura de Temporal, Pastizal inducido	Ninguno	28.00	0.18
Área urbana	Area Urbana	No aplicable	227.19	1.43
Bosque	Bosque de Encino	Ninguno	515.41	10.72
Bosque	Bosque de Encino	Vegetación secundaria aparente	883.18	
Bosque	Bosque de Encino-Pino	Ninguno	27.89	
Bosque	Bosque de Oyamel	Vegetación secundaria aparente	32.72	
Bosque	Bosque de Pino	Ninguno	73.45	
Bosque	Bosque de Pino	Vegetación secundaria aparente	95.46	
Bosque	Bosque de Pino-Encino	Ninguno	75.78	
Cuerpo de agua	Cuerpo de Agua Perenne interior	No aplicable	91.99	0.58
Matorral	Matorral Crasicaule	Ninguno	757.64	15.97
Matorral	Matorral Crasicaule	Vegetación secundaria aparente	524.35	
Matorral	Matorral Subtropical	Ninguno	73.06	
Matorral	Matorral Subtropical	Vegetación secundaria aparente	1181.97	
Otros tipos de vegetación	Mezquital	Vegetación secundaria aparente	46.58	0.29
Otros tipos de vegetación	Tular	No aplicable	8.58	0.05
Pastizal	Pastizal Halofilo	Ninguno	18.38	16.49
Pastizal	Pastizal Inducido	Ninguno	784.26	
Pastizal	Pastizal Natural	Ninguno	253.84	
Pastizal	Pastizal Natural	Vegetación secundaria aparente	1563.57	
Pastizal – Área agrícola	Pastizal Inducido, Agricultura de Temporal	No aplicable	202.56	1.27
			15889.52	100.00

Cuadro 2.1 Uso de Suelo y vegetación

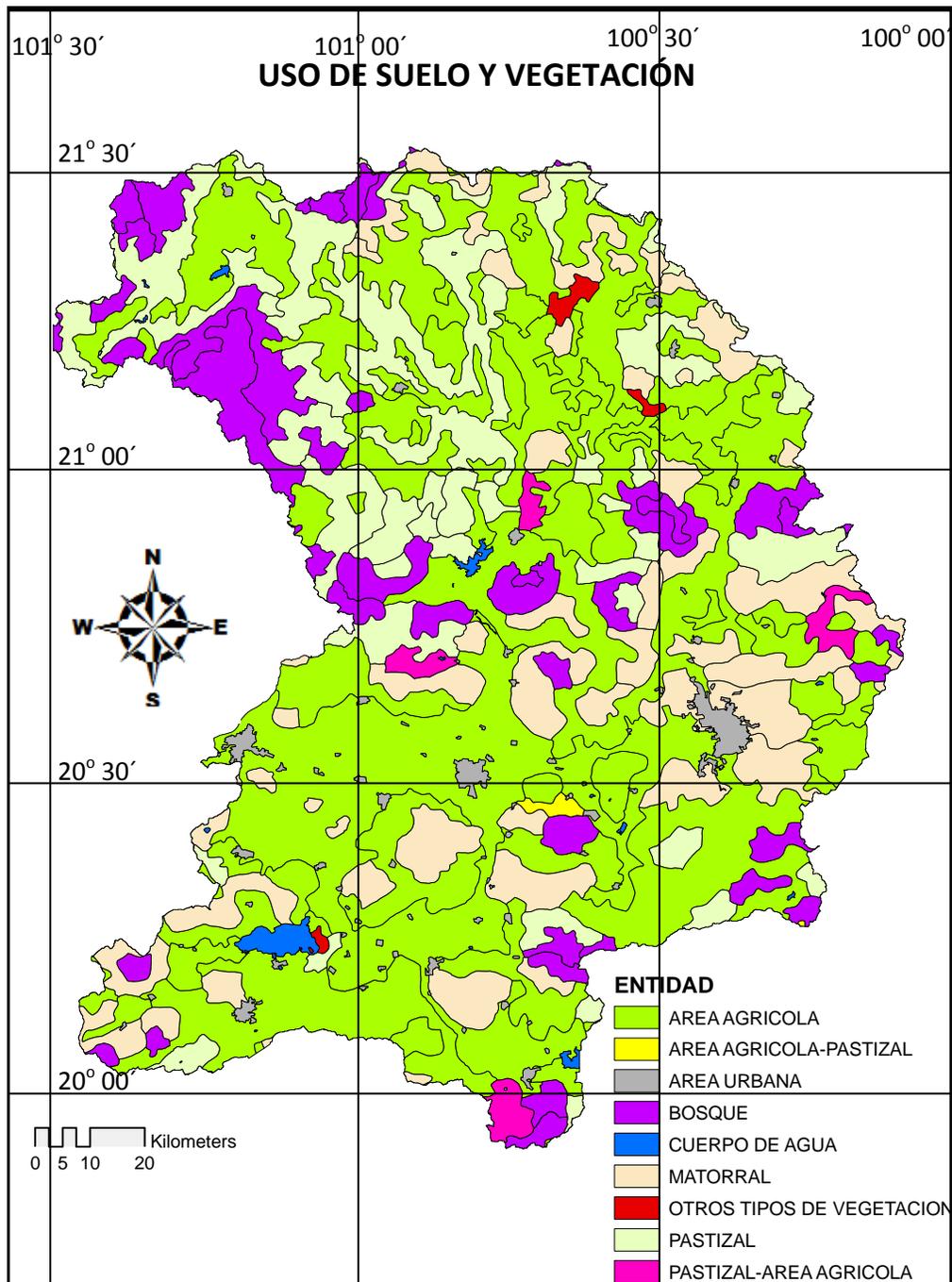


Fig. 2.6 Mapa de uso de suelo y vegetación en la cuenca
www.conabio.gob.mx

Como se aprecia en el mapa de la figura 2.6, las zonas agrícolas son las que tienen mayor peso en la cuenca debido a que la actividad agrícola es una de las más importantes del centro del país, porque el clima que se tiene es favorable para ello. También se destacan las zonas boscosas principalmente de encino y pino, así como los matorrales *crasicaule* (Comunidad vegetal que se caracteriza por la presencia de gran número de formas de vida) y subtropical, así como los pastizales tanto naturales como inducidos.

b) Edafología

La edafología es el estudio de las características, composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que lo rodea, así como su composición química, factores determinantes para conocer la permeabilidad del suelo y sus condiciones de escurrimiento. De esta manera, el cuadro 2.2 muestra los diferentes tipos de suelo dentro de la cuenca.

Descripción	Descripción Fase Física	Observaciones	Área (Km ²)	Porcentaje por tipo de suelo
Acrisol Húmico	Lítica		0.26	0.0016
Cambisol Eutrítico	Lítica		56.99	0.3587
Castañozem Cálcico	Lítica		20.48	0.3028
Castañozem Cálcico	Petrocalcica		27.63	
Castañozem Luvico	Dúrica		129.4	0.8144
Feozem Hápico	Dúrica		15.57	22.2166
Feozem Hápico	Frágica		89.82	
Feozem Hápico	Lítica		3190.44	
Feozem Hápico	ND		139.31	
Feozem Hápico	Pedregosa		12.66	
Feozem Hápico	Petrocalcica		82.32	
Feozem Luvico	Dúrica		2604.16	
Feozem Luvico	Frágica		117.82	
Feozem Luvico	Lítica		40.23	
Feozem Luvico	ND		9.62	
Feozem Luvico	Pedregosa		244.77	
Feozem Luvico	Petrocalcica		311.6	
Litosol	ND		906.73	5.7065
Luvisol Crómico	Lítica		383	2.4104
Luvisol Ortico	ND		0.03	0.0002
Planosol Molico	Dúrica		57.22	0.3601
Rendzina	Petrocalcica		22.11	0.1391
Vertisol Crómico	Pedregosa		47.63	0.2997
Vertisol Pélico	Dúrica		247.5	44.0509
Vertisol Pélico	Frágica		59	
Vertisol Pélico	Lítica		382.45	
Vertisol Pélico	ND		3400.16	
Vertisol Pélico	Pedregosa		2877.18	
Vertisol Pélico	Petrocalcica		33.19	
Xerosol Hápico	Dúrica		213.37	1.3428
Yermosol Hápico	Frágica		33.61	0.2115
	Petrocalcica	cuerpo de agua	89.91	0.5659
	Petrocalcica	Poblado	43.37	0.2729
		Área Total	15889.52	100.0000

Cuadro 2.2 Edafología en la cuenca

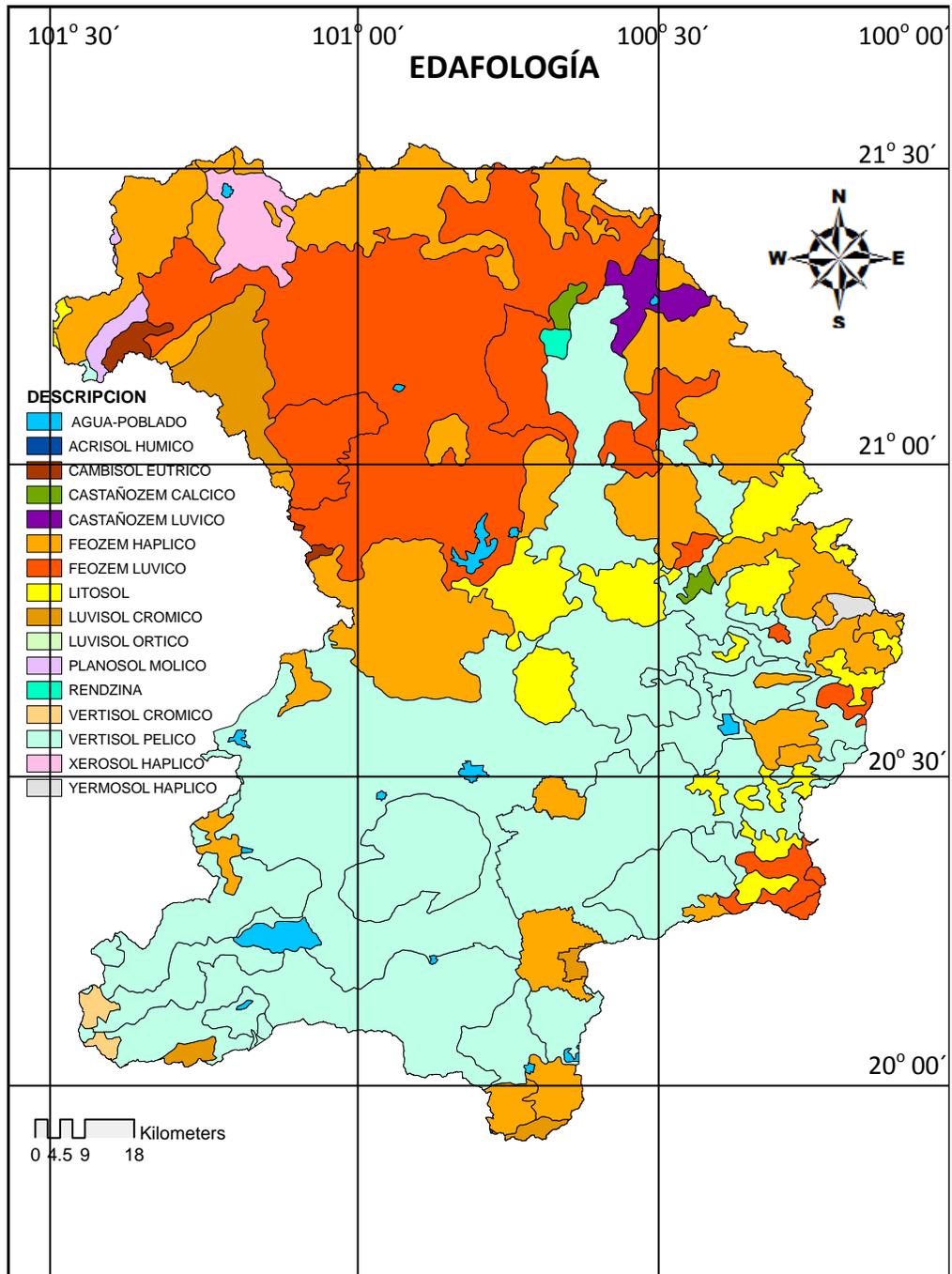


Fig. 2.7 Mapa de Edafología en la cuenca
www.conabio.gob.mx

Como se aprecia en la figura 2.7 en una buena parte de la cuenca existen suelos del tipo Vertisol Pélico, los cuales son suelos duros en la estación seca y plásticos en la húmeda. El labrado de estos es difícil, excepto en los cortos períodos de transición entre ambas estaciones. Sin embargo, con un buen manejo, son suelos muy productivos (www.centrogeo.org.mx). También se destacan los suelos de tipo Feozem tanto háplico como lúvico, éstos tienen igual o mayor fertilidad que los vertisoles, ricos en materia orgánica, textura media, buen drenaje y ventilación, aunque en general son poco profundos, casi siempre pedregosos y muy inestables, restringiendo por ello su uso en la agricultura permanente(www.centrogeo.org.mx). Lo anterior conjuga perfectamente con el uso que se le da al suelo pues como se pudo observar en la mayor parte de la cuenca el uso es precisamente para la agricultura.

También destacan en menor medida los suelos de tipo litosol que son pedregosos y los luvisoles que también son suelos rocosos pero que debajo de esta capa rocosa existe arcilla (www.centrogeo.org.mx).

c) Climas

La importancia del conocimiento del tipo de clima dentro de la zona de estudio es para fines descriptivos, los cuales permitan visualizar de manera más amplia las condiciones de la cuenca y a su vez que sirvan como base para determinar o suponer algunos factores que podrían influir en el estudio. En el cuadro siguiente se explican los tipos de clima predominantes en la zona.

Tipo	Descripción Temperatura	Descripción Precipitación	Área (km ²)	Porcentaje
(A)C(w1)	Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% anual.	285.71	1.80
(A)C(wo)	Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2, y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	3781.92	23.80
BS1hw	Semiárido, semicálido, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	1339.90	8.43
BS1kw	Semiárido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	5483.28	34.51
C(w1)	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	2284.11	14.37
C(w2)	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.	117.53	0.74
C(wo)	Templado, subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C y temperatura del mes más caliente bajo 22°C.	Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2 y porcentaje de precipitación invernal del 5% al 10.2% del total anual.	2597.06	16.34
Área total			15889.52	100.00

Cuadro 2.3 Climas dentro de la cuenca

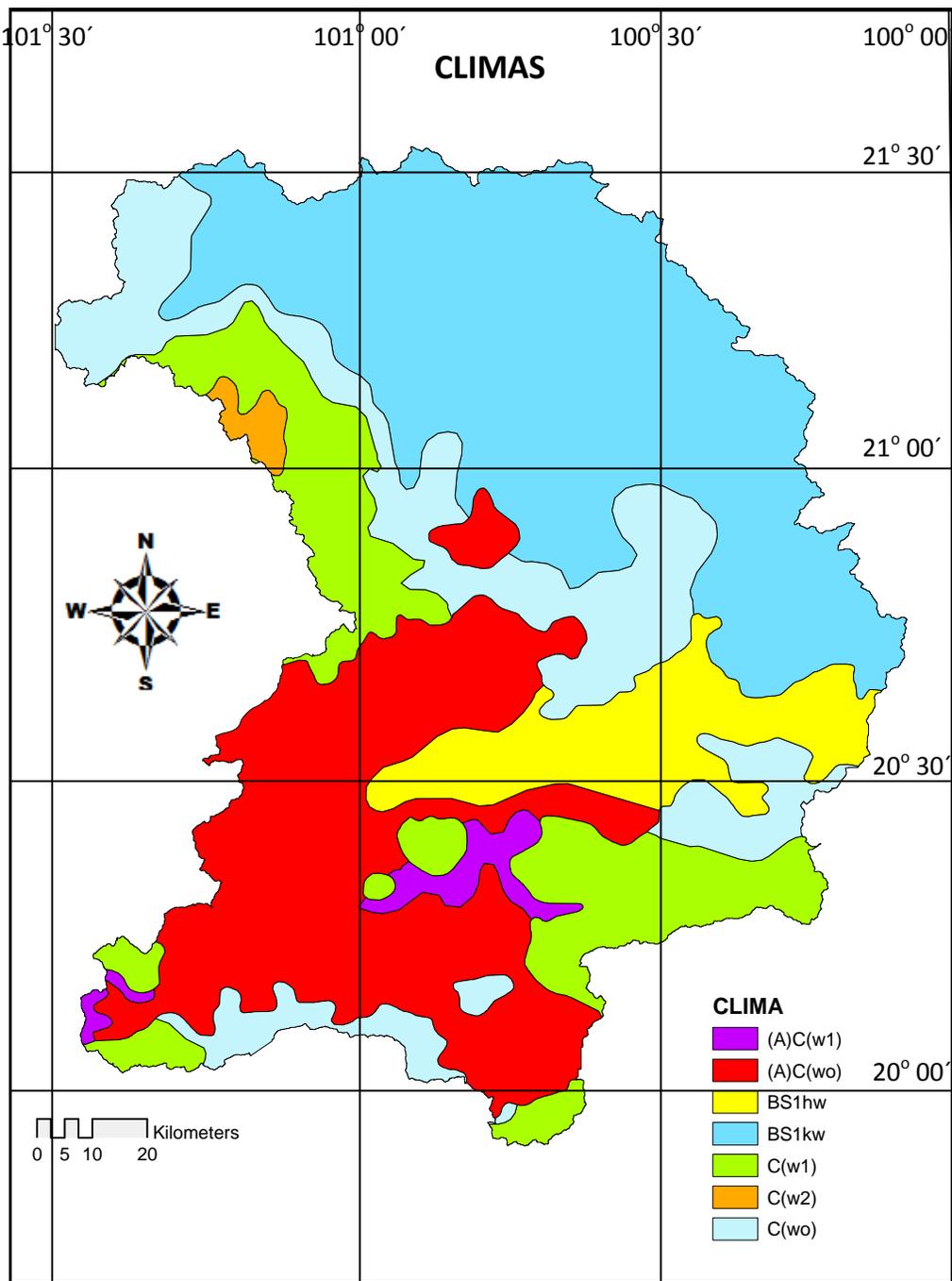


Fig. 2.8 Mapa de Climas dentro de la cuenca
www.conabio.gob.mx

El clima dentro de la cuenca es variado, destacando por proporciones el Semiárido templado y semiárido semicálido (BS1hw y BS1kw), el templado subhúmedo en tres de sus modalidades C(wo), C(w1) y C(w2), así como el Semicálido subhúmedo (A)C(wo) presente en la ciudad de Salamanca . También se puede observar que la temperatura media en la cuenca está en los rangos de 12 a 18°.

d) Erosión

La erosión dentro de la cuenca es parte importante, no solo en cuanto al conocimiento de las características de la zona de estudio, sino también porque con ello se tendrá una idea de la cantidad de sedimentos que pueden ser arrastrados por los ríos y que puedan generar problemas relacionados con el aumento en el nivel de los cauces.

Erosión	Área (km²)	Porcentaje
Con erosión apreciable	2709.07	17.05
No aplicable	327.77	2.06
Sin erosión apreciable	12852.68	80.89
Total	15889.52	100.00

Cuadro 2.4 Erosión en la cuenca

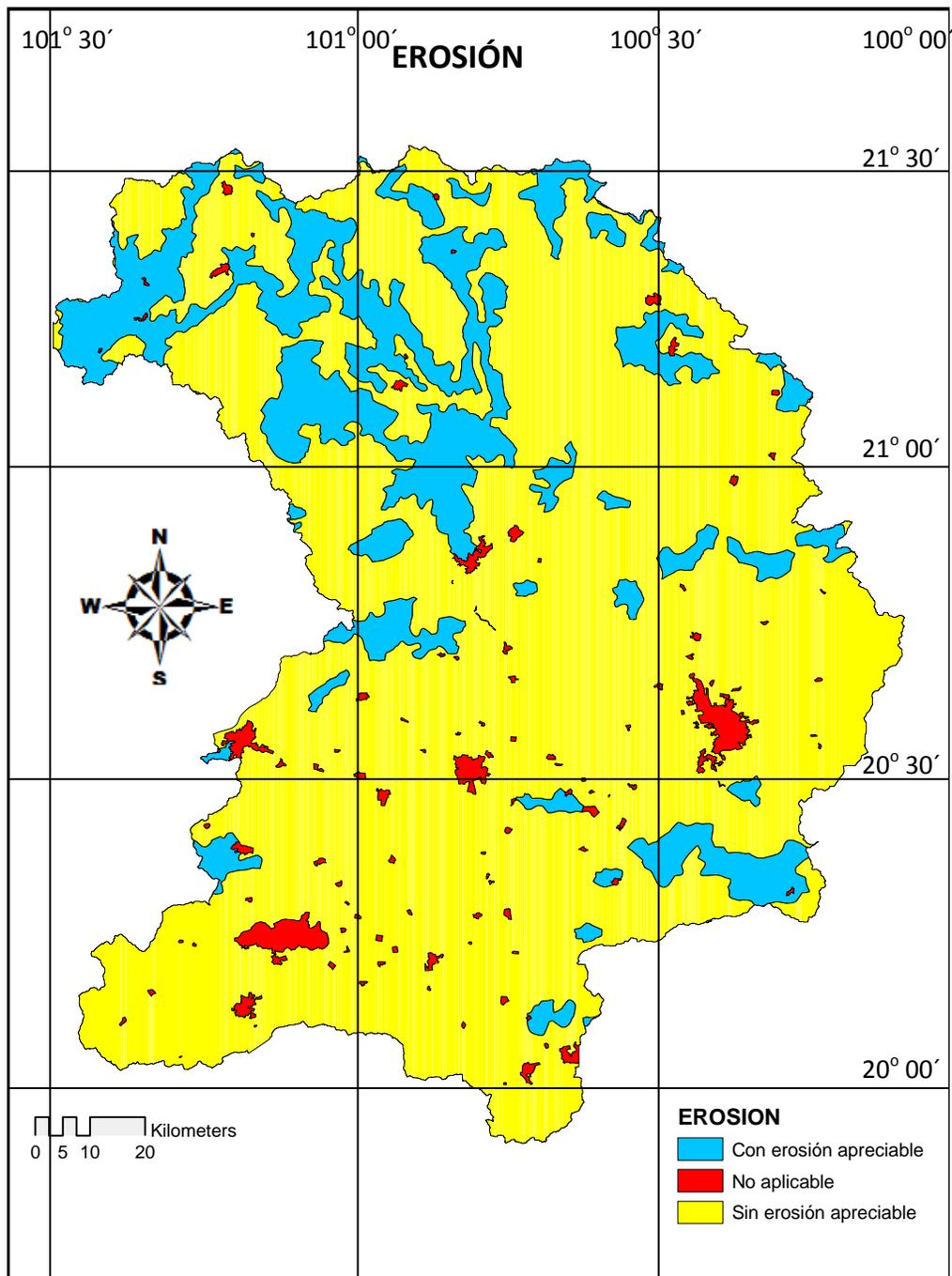


Fig. 2.9 Mapa de Erosión en la cuenca
www.conabio.gob.mx

Como se puede observar en el mapa de la figura 2.9, en una gran parte de la zona de interés no presenta erosión, lo cual indica cierta estabilidad en los suelos, esto es en gran medida debido a la vegetación presente en la zona así como al uso que se le da al suelo (Agricultura). Se presentan en menor medida zonas con erosión apreciable sin llegar a ser grave. Las zonas donde no es aplicable la erosión, son precisamente los cuerpos de agua y las zonas urbanas.

e) Precipitación

El conocimiento de los rangos de precipitación media anual sirve para dar una idea del comportamiento de las lluvias en la zona, únicamente de modo descriptivo, ya que para los objetivos de la investigación se pretende realizar un análisis a fondo de precipitación, esto se verá en la sección 5.3, debido a que es parte indispensable para el desarrollo del presente trabajo.

Rangos (precipitación media anual)	Área (km ²)	Porcentaje
125 a 400 mm	626.12	3.94
400 a 600 mm	8582.78	54.02
600 a 800 mm	6586.06	41.45
800 a 1200 mm	94.55	0.60
Área total	15889.52	100.00

Cuadro 2.5 Rangos de precipitación media anual en la cuenca

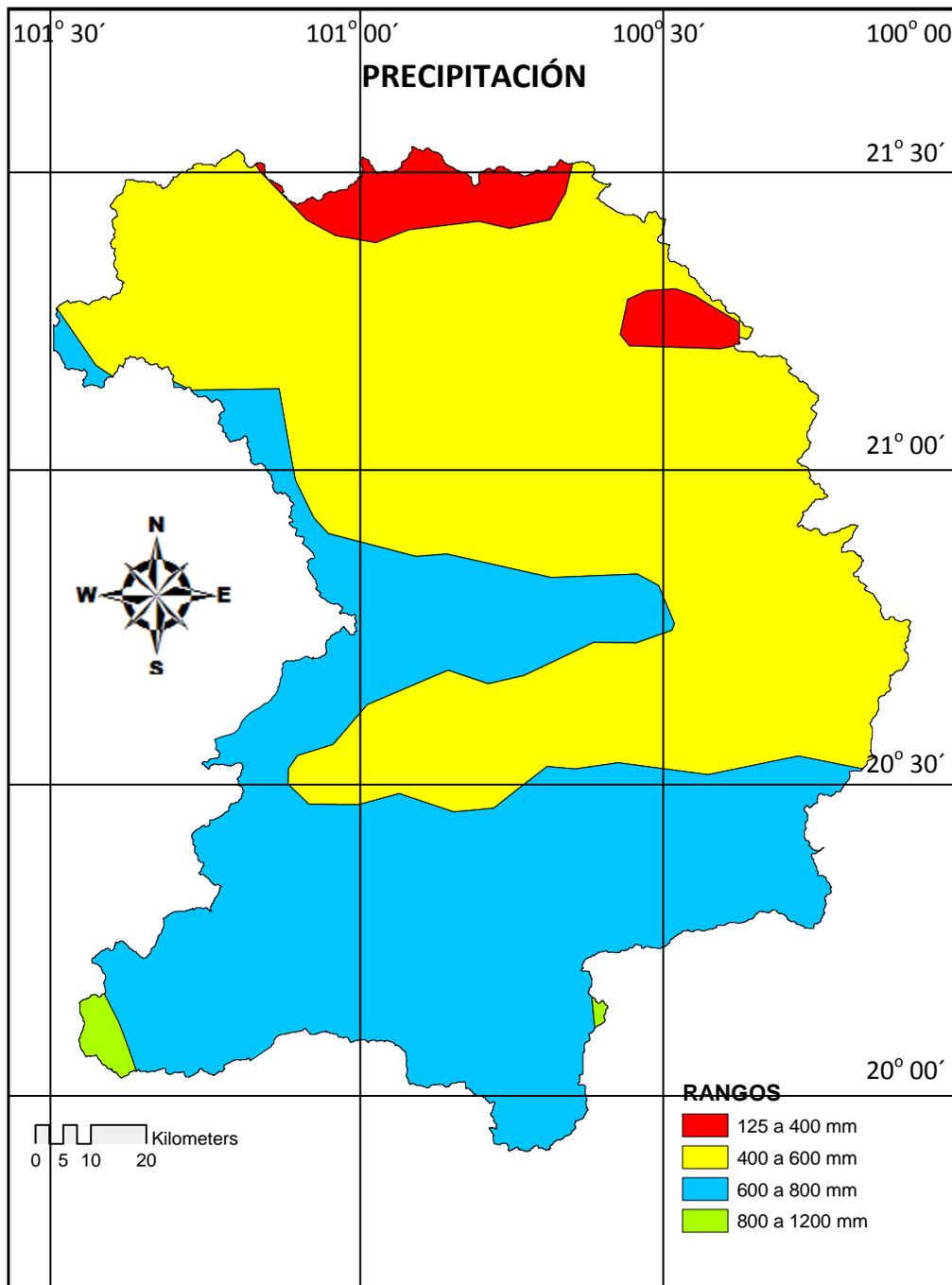


Fig. 2.10 Precipitación en la cuenca
www.conabio.gob.mx

En el mapa de la figura anterior, se observa que la precipitación media anual se encuentra en los rangos de 125 a 400 mm en las zonas más secas y de 800 a 1200mm en las más húmedas, siendo estas zonas de pequeña proporción en comparación con las áreas que presentan precipitaciones medias anuales de rangos como 400 a 600mm y de 600 a 800 lo cual indica claramente la presencia eventual de lluvias moderadas sobre todo en verano y es perfectamente comparable con el tipo de clima que se tiene en la cuenca.

f) Evapotranspiración

La evapotranspiración representa las pérdidas de humedad en la superficie, es importante su análisis dentro de la cuenca, para consideraciones especiales sobre pérdidas adicionales de lluvia y escurrimiento en la zona de estudio.

Rango (mm)	Área (Km²)	Porcentaje
300-400	1287.70	8.10
400-500	6862.74	43.19
500-600	4296.98	27.04
600-700	3442.08	21.66
Área Total	15889.52	100.00

Cuadro 2.6 Evapotranspiración en la cuenca

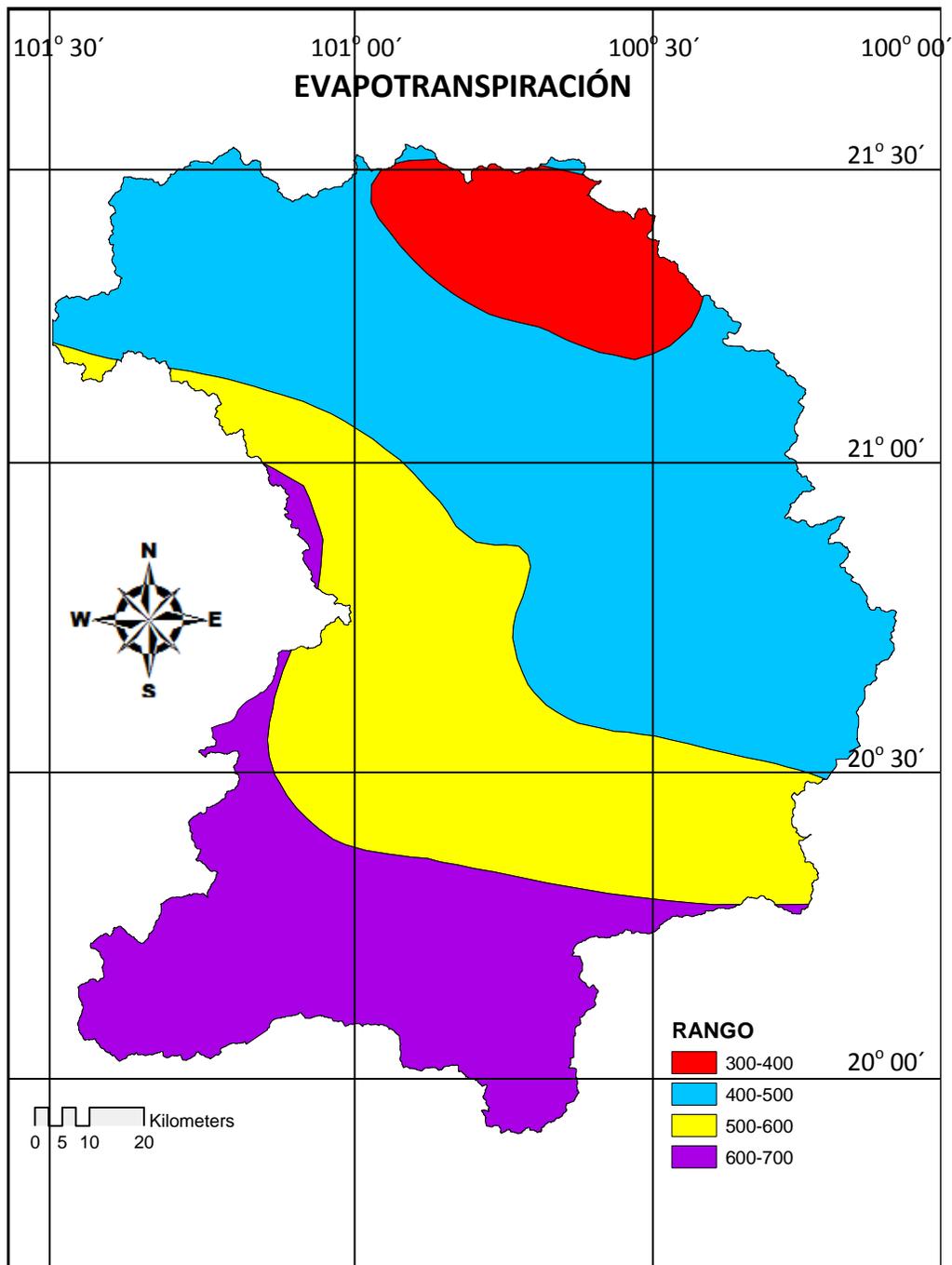


Fig. 2.11 Mapa de evapotranspiración en la cuenca
www.conabio.gob.mx

Se observa que la cuenca está dividida en cuatro rangos de evapotranspiración: la primera en la parte baja de la cuenca, los rangos van desde 600 a 700 mm anuales siendo esta donde existe más evapotranspiración. En la parte media, los rangos van desde los 400 a los 600 mm anuales y por último en la parte alta, los rangos van desde los 300 a los 400 mm anuales.

3. ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PROBLEMÁTICA

3.1. Antecedentes

En el año 1888 a partir del 19 de Junio, se presentó la inundación más catastrófica registrada durante el siglo XIX, al desbordarse tanto el río Grande (Lerma) como el arroyo de San Antonio e inundarse prácticamente todo el Bajío de Guanajuato, quedando incomunicadas la mayoría de poblaciones existentes. Este evento se conoce entre los pobladores como “El Diluvio del Bajío”.

Ya en el siglo XXI, en el año 2003, tuvo lugar una inundación que afectó gravemente a sus pobladores. El sábado 6 de septiembre dio inicio una lluvia torrencial (que algunos catalogaron de tromba) acompañada de fuertes precipitaciones en la región mantuvo, la cual copada a la ciudad por dos semanas. Las afectaciones se presentaron en más áreas por el crecimiento demográfico que para entonces tenía la cabecera municipal.

La continuidad de la lluvia, junto con los desbordamientos de canales, drenes y zonas de retención, crearon severos daños al área rural y el derrumbe de construcciones de adobe, lo que provocó severas preocupaciones tanto en las autoridades como en la ciudadanía. Las colonias o asentamientos afectados fueron en aumento por lo que las autoridades, incrementaron el número de albergues con la participación conjunta de diferentes instancias tanto del sector privado como del público, para que la ciudadanía afectada recibiera ayuda pronta y expedita.

El Ejército Mexicano, la Cruz Roja, los H. Bomberos, Protección Civil, el grupo SAMI, clubes de servicio, escuelas y las organizaciones brindaron su apoyo a los afectados. Por el nivel alcanzado, las afectaciones fueron de diversa índole, viéndose afectadas: las construcciones, muebles y enseres. Por lo que respecta a las vías de comunicación también se vieron afectadas: la carretera libre Salamanca – Irapuato, la cual quedo inundada al desbordarse el dren 20. Esta

inundación dejó claros ejemplos de la fuerza incontenible del agua, debido a fuertes precipitaciones o desbordamientos de ríos y canales, las áreas potencialmente afectables sufren severos daños. De igual manera dejó clara respuesta la ciudadanía, los grupos de apoyo y la autoridad, que unidos pueden lograr minimizar los impactos de un agente destructor. Entre las principales afectaciones que estas anegaciones originaron esta: más de 32,000 personas damnificados, 6,500 viviendas con daños, 100 escuelas afectadas, más de 500 pobladores rurales perdieron sus cosechas. Las colonias que sufrieron el impacto fueron: Constituyentes, El Pitayo, Reforma, Insurgentes, Las Estancias, El Divisador, Infonavit II, La Herradura, Ampliación Los Sauces, San Pedro, Insurgentes 4, La Cruz 4, Ampliación Bellavista, Aztlán, Frac. El Parque, Guanajuato, San Javier, El Rocío, Las Reynas, 1910, La Luz, El Edén, La Gloria; así como las comunidades: Los Ramírez, Loma de San Antonio, La Capilla, Ventanilla, San Manuel de Valderrama, Los Sotos, San Bernardo, La Noria de San Bernardo, Puerto de Rojas, Cerro Blanco, Puerto de Guadalupe, Los Negrete, Los Zavala, Ojo de Agua y Puerto de Valle (proteccioncivil.guanajuato.gob.mx).

3.2. Descripción general de la problemática

En la ciudad de Salamanca existe un sistema de drenes, cuya principal función es recibir y conducir los desechos de las fábricas, las aguas grises y negras provenientes de las colonias, así como todas las aguas desechadas en las zonas de cultivo cercanas a la ciudad hacia el río Lerma. En la figura 3.1 se presenta un mapa del sistema de drenes:



Fig. 3.1 Mapa de drenes principales ubicados en la ciudad de Salamanca (CMAPAS)

El problema comienza, cuando tras una fuerte lluvia, el río Lerma sube su cauce como es normal, sin embargo, debido a la topografía de la zona se tienen pendientes muy bajas en los drenes, esto hace que cuando el río Lerma aumenta su caudal, ocurre un remanso a partir del dren 20, en virtud de que el nivel de las aguas del río es superior a las del dren. Si la crecida del río es muy grande, los drenes tienden a desbordarse y es como ocurre la inundación. Como se puede ver en el mapa, los drenes que más afectan a la ciudad si llegarán a desbordarse son: dren 20 Salamanca, dren 16 Granados y dren 15 Sardinias.

En la figura 3.2 podemos ver al dren 20 a su máxima capacidad. Nótese la poca pendiente que tiene:



Fig. 3.2 “Dren 20” durante la época de lluvias (CMAPAS)

En la figura 3.3 se observa un puente en el dren 20 cuando este se encuentra a su máxima capacidad, se puede notar que el agua casi llega al nivel de la carretera:



Fig. 3.3 Un puente que atraviesa al “Dren 20” (CMAPAS)

Sin embargo, éste no es el único problema, pues la ciudad de Salamanca no cuenta con drenaje pluvial en la mayor parte de las zonas pobladas. Todas las aguas de desecho son bombeadas por medio de cárcamos o descargadas directamente al río Lerma y a otros drenes; cuando hay una lluvia fuerte en la zona, el drenaje sanitario y los cárcamos son insuficientes para desalojar el agua,

y es como también puede ocurrir una inundación en la zona, y es peor si se combinan los dos problemas.

Por estas razones, es importante hacer un análisis hidrológico para la cuenca del río Lerma hasta la ciudad de Salamanca, ya que siendo éste el principal cauce que cruza por la ciudad, y siendo el responsable de las inundaciones, es necesario conocer lo que sucede en su cuenca para poder determinar eventos de diseño que puedan ser usados en la posible construcción de obras, o bien, para la considerar posibles acciones encaminadas para evitar que estos problemas continúen sucediendo y brindarle una mejor calidad de vida a los habitantes de estas zonas.

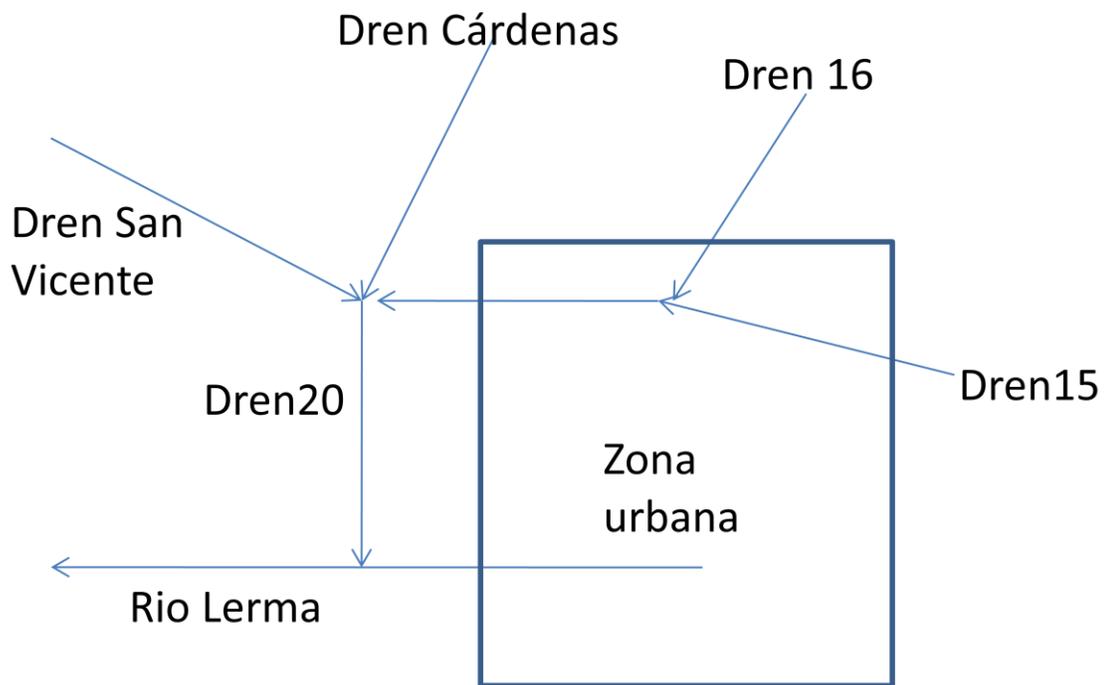


Fig. 3.4 Esquema que muestra la dirección del flujo de los diferentes drenes de la ciudad.

4. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

4.1. Topografía (MDE)

Los MDE's (Modelos Digitales de Elevación) proporcionan información de elevación del terreno, con los cuales se pretende determinar las subcuencas de aportación a la zona de interés. Los MDE's se obtienen de forma gratuita con INEGI, y se encuentran a escala 1:50 000 en formato vectorial y georeferenciados. El modelo digital usado es el que se muestra en la figura 4.1, donde se puede ver las condiciones del terreno en escala de grises, a simple vista nos da una idea de las condiciones del terreno, así mismo se aprecian las zonas donde cruzan los ríos así como las elevaciones orográficas de la zona.

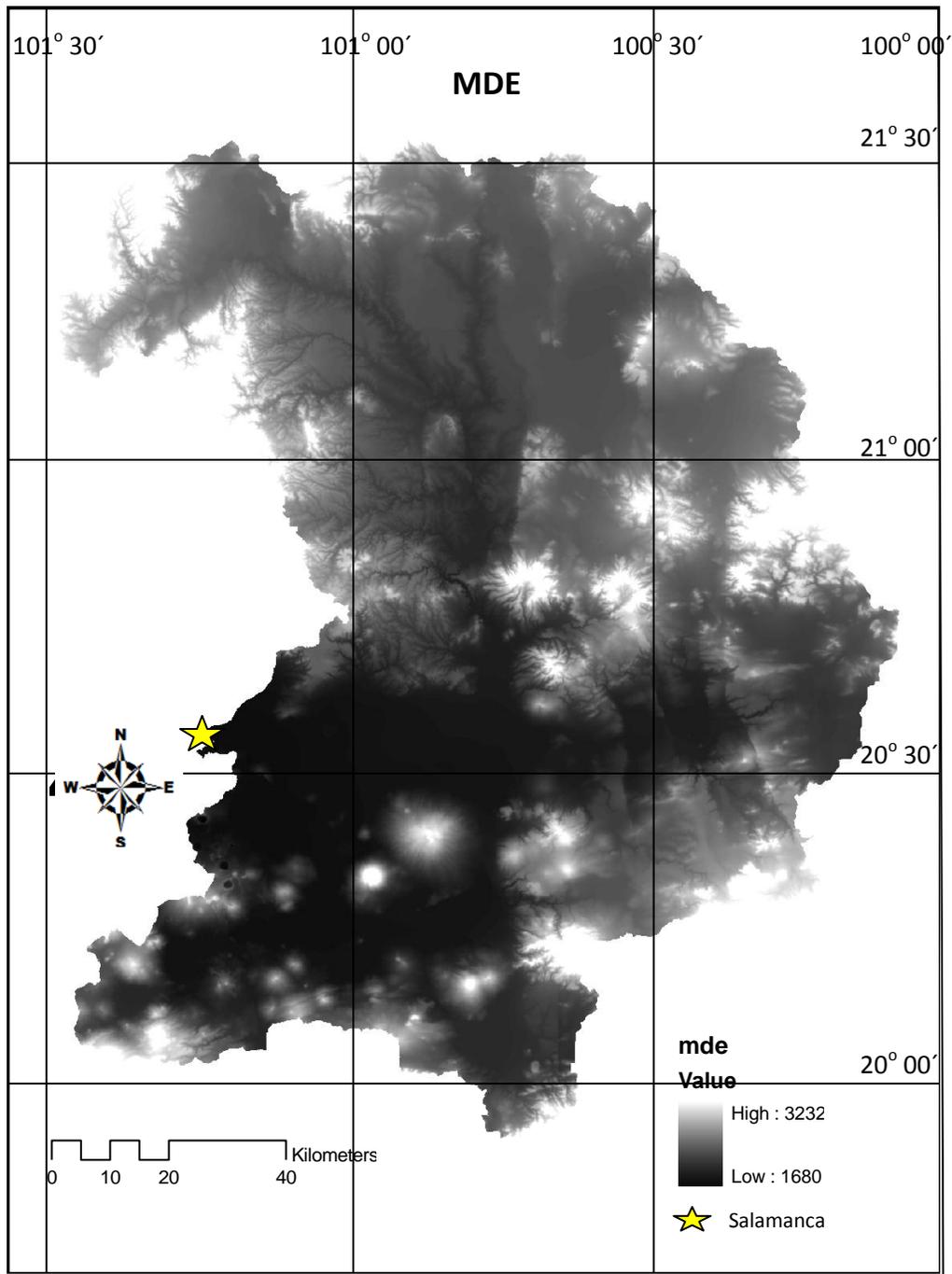


Fig. 4.1 Modelo Digital de Elevaciones (MDE)
www.inegi.gob.mx

De los MDE es posible obtener las curvas del nivel del terreno con herramientas como Arc View como se muestra a continuación:

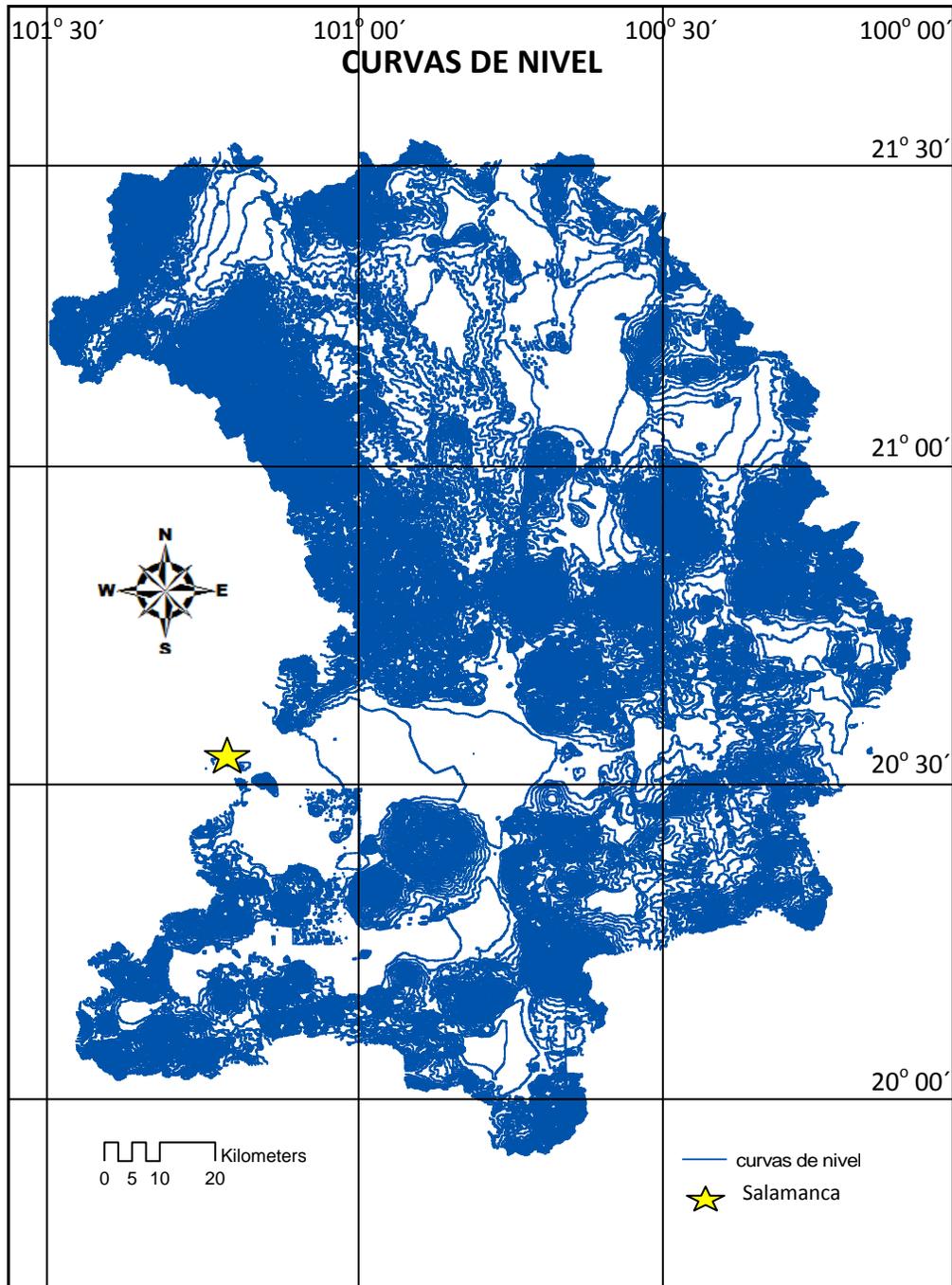


Fig. 4.2 Curvas de Nivel en la zona de estudio a cada 25 metros

4.2. Estaciones climatológicas

Las estaciones climatológicas proporcionan los datos atmosféricos más importantes (Precipitación, evapotranspiración, temperatura, etc.), para el presente estudio se utilizarán datos de precipitación.

Usando la herramienta ERIC III (Extractor Rápido de Información Climatológica) (ERIC, 2007) se determinaron las estaciones que se encuentran dentro de la cuenca, considerando también estaciones que se encontraran a 10 km fuera de los límites de la zona debido a que pueden influir, y tienen una buena cantidad de datos.

De esta manera se obtuvo una lista de más de 130 estaciones que se encontraban en la zona de estudio, sin embargo, con el fin de depurar la lista únicamente se consideraron aquellas estaciones que tuvieran más de 30 años de registro y con más del 80% de datos completos, quedando únicamente 63 estaciones con dichas características.

A continuación, en el mapa de la figura 4.3, se muestra la distribución de las estaciones en la cuenca, y en el cuadro 4.1 los datos más importantes de cada estación, en el siguiente capítulo se realizará un análisis de frecuencias y de este modo determinar lluvias para diferentes periodos de retorno.

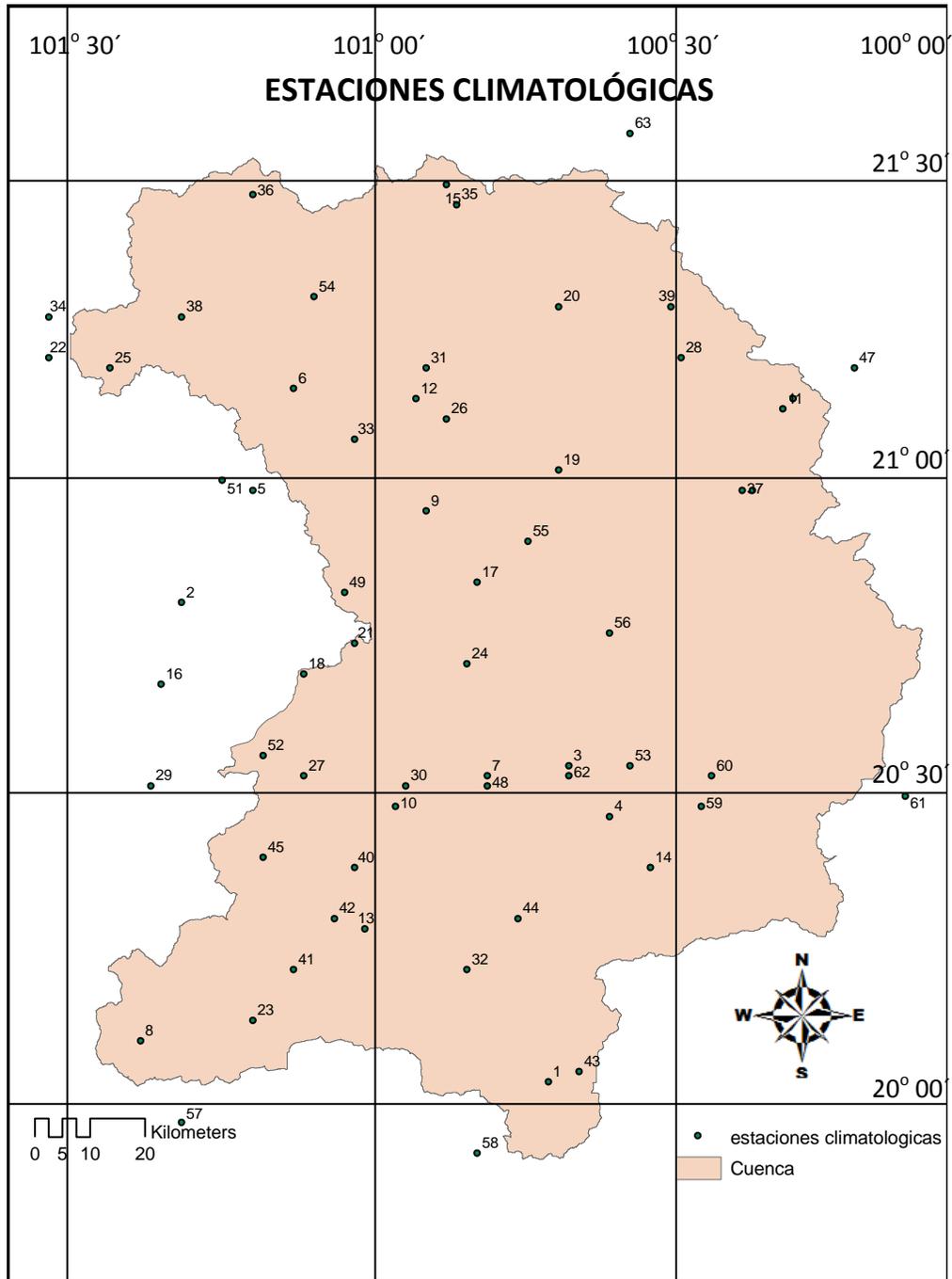


Fig. 4.3 Mapa de la cuenca con las estaciones climatológicas

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

No.	Clave	Nombre	Long (gra)	Lat (gra)	Altitud (msnm)	Primer año con datos	Último año con datos	Años con datos	Porcentaje de datos completos	Precipitación máxima anual promedio (mm)
1	11002	Acámbaro, Acámbaro	20	100	1846	1951	2005	55	80.5	47.08
2	11004	Aldama, Irapuato	20	101	1775	1949	2004	56	85.6	47.18
3	11005	Apaseo, Apaseo el Grande	20	100	1767	1961	2004	44	92.7	52.84
4	11006	Apaseo el Alto	20	100	1767	1961	2004	44	89.4	50.05
5	11007	Calderones, Guanajuato	21	101	1900	1949	2004	56	90	55.58
6	11008	Cañada Gonzales	21	101	1259	1965	1998	34	89.4	58.21
7	11009	Celaya, Celaya (SMN)	20	100	1752	1922	2005	84	87.6	51.56
8	11010	Cerano, Yuriria	20	101	1850	1962	2004	43	84.3	43.41
9	11011	Cinco Señores	20	100	1850	1962	2004	43	91.7	53.30
10	11013	Cortázar, Cortázar	20	100	1750	1961	2004	44	87.7	50.33
11	11015	Charcas San J. Iturbide	21	100	2125	1949	2003	55	91.3	39.05
12	11017	Dolores Hgo. C.Cap.Rural	21	100	1895	1951	2005	55	94.1	45.73
13	11021	El Sabino, Salvatierra	20	101	1775	1962	2005	44	99.7	48.60
14	11022	El Terrero, Apaseo Alto	20	100	1800	1963	2005	43	98.9	55.23
15	11026	Hacienda San Juan	21	100	2093	1961	1999	39	95.8	42.40
16	11028	Irapuato, Irapuato (SMN)	20	101	1724	1903	2004	102	100	54.92
17	11033	La Begoña, San M. Allende	20	100	1850	1961	2004	44	92.7	45.91
18	11041	Los Razos, Salamanca	20	101	1753	1965	2003	39	88.1	52.53
19	11042	Los Rodríguez	21	100	2000	1962	2003	42	91.1	46.46
20	11043	Lourdes, S. Luis De La Paz	21	100	2013	1949	1991	43	83.2	38.82
21	11044	Mandujano Sta. Cruz J.R	20	101	2066	1964	2004	41	93	48.51
22	11045	Media Luna, León	21	101	2090	1947	2004	58	86.9	51.75
23	11047	Moroleón, Moroleón	20	101	1780	1922	2005	84	85.6	51.05
24	11048	Neutla, Comofort	20	100	1825	1963	2004	42	97.1	51.16
25	11049	Nuevo Valle Moreno, León	21	101	2200	1962	2005	44	95.4	50.54
26	11051	Peñuelitas, D. Hidalgo	21	100	1850	1961	2004	44	100	48.58
27	11052	Pericos, Salamanca	20	101	1772	1937	2005	69	100	47.06
28	11053	Pozos, San Luis de La Paz	21	100	2188	1949	2005	57	90.8	44.40
29	11054	Pueblo Nuevo, P. Nuevo	20	101	1714	1963	2002	40	84	48.33
30	11056	Planta Ramos, Millan V.	20	100	1750	1969	2004	36	85.9	58.37
31	11057	Río Lajas, Dolores Hgo.	21	100	1906	1941	1975	35	81.6	47.03
32	11060	Salvatierra, Salvatierra	20	100	1782	1937	2004	68	95.1	49.90
33	11061	San Antón, Dolores Hgo.	21	101	2280	1964	2003	40	82.2	47.77
34	11063	San Cristóbal, S. L. P.	21	101	1935	1965	2003	39	84.7	40.36
35	11064	San Diego de la Unión	21	100	2080	1902	1998	97	95.8	40.24
36	11065	San Felipe, S. Felipe DGE	21	101	2100	1922	2003	82	86.9	45.41
37	11066	San José Iturbide	21	100	1870	1952	2003	52	87.4	44.86

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

38	11067	San J. de los Llanos SMN	21	101	2020	1924	1989	66	84.1	44.85
39	11068	San Luis de la Paz	21	100	2020	1924	2002	79	86.6	40.48
40	11070	Santa Julia, Cortázar	20	101	1730	1954	2003	50	92.1	54.58
41	11071	Santa María Yuriria(DGE)	20	101	1761	1939	2004	66	91.9	50.34
42	11072	Santa Rita, Jaral Del P.	20	101	1783	1961	2004	44	91.8	51.69
43	11076	Solís, Acámbaro	20	100	1900	1961	2004	44	92.2	42.98
44	11078	Tarimoro, Tarimoro	20	100	1772	1966	2003	38	82.8	48.77
45	11079	Valle de Santiago	20	101	1721	1922	2003	82	88.1	46.70
46	11080	Villa Doctor Mora (SMN)	21	100	2125	1953	1990	38	98	56.11
47	11082	Victoria, Victoria	21	100	1800	1949	2004	56	91.3	49.79
48	11084	Celaya, Celaya (DGE)	20	100	1754	1947	2003	57	89.5	51.39
49	11085	Dos Arroyos, S. Miguel. A	20	101	2200	1972	2003	32	82.4	52.60
50	11088	San José Iturbide (DGE)	21	100	1870	1949	2002	54	96.6	47.28
51	11094	Guanajuato, Guanajuato	21	101	2057	1969	2005	37	89.5	58.71
52	11096	Salamanca, Salamanca	20	101	1722	1941	2004	64	92.3	54.24
53	11105	Ameche, Apaseo	20	100	1786	1974	2005	32	82.1	48.85
54	11107	La Quemada, San Felipe	21	101	1753	1974	2004	31	83.6	43.17
55	11118	San Miguel Allende	20	100	1904	1975	2004	30	100	50.15
56	11122	Presa Jalpa, S.M.Allende	20	100	2040	1976	2005	30	99.3	46.66
57	16027	Cuitzeo, Cuitzeo	19	101	1831	1923	2003	81	100	38.54
58	16052	Huingo, Zinapécuaro	19	100	1832	1941	2004	64	99.3	39.94
59	22004	El Batán, Corregidora	20	100	1880	1965	2003	39	88.4	50.31
60	22006	V. Pueblito A. Corregidora	20	100	1810	1961	2003	43	85.5	49.14
61	22011	Pedro Escobedo	20	100	2000	1942	1975	34	89.9	59.50
62	22024	Tres Lagunas	20	100	530	1972	2001	30	85	64.58
63	24093	Tierranueva, Tierranueva	21	100	1778	1961	2002	42	88.6	41.31

Cuadro 4.1 Estaciones climatológicas seleccionadas
(ERIC, 2007)

4.3. Información hidrométrica

Esta información fue extraída de Banco de Datos de Aguas Superficiales, conocido como BANDAS (Bandas, 1999). Para el fin que persigue este estudio se localizaron dos estaciones hidrométricas, con el propósito de extraer datos de avenidas reales aforadas, las cuales serán utilizadas para la calibración del modelo hidrológico y para poder simular el modelo en otros escenarios, con la certeza de que los datos, si bien no son reales, están cerca de serlo debido a que el modelo se encuentra calibrado con un evento real.

Las estaciones hidrométricas que serán usadas son las que se muestran en las tablas siguientes:

Comisión Nacional Del Agua	
Subdirección General Técnica	
Gerencia de aguas superficiales e ingeniería de ríos	
Estación: Salamanca	Clave: 12007
Corriente: Río Lerma	Región: 12 Lerma-Santiago
CUENCA: Río Lerma	Estado: Guanajuato

Cuadro 4.2 Datos de la estación hidrométrica 12007
Salamanca
(BANDAS)

Comisión Nacional Del Agua	
Subdirección General Técnica	
Gerencia de aguas superficiales e ingeniería de ríos	
Estación: Salamanca II	Clave: 12352
Corriente: Río Lerma	Región: 12 Lerma-Santiago
CUENCA: Río Lerma	Estado: Guanajuato

Cuadro 4.3 Datos de la estación hidrométrica 12352
Salamanca II
(BANDAS)

4.4. Información de la presa Solís

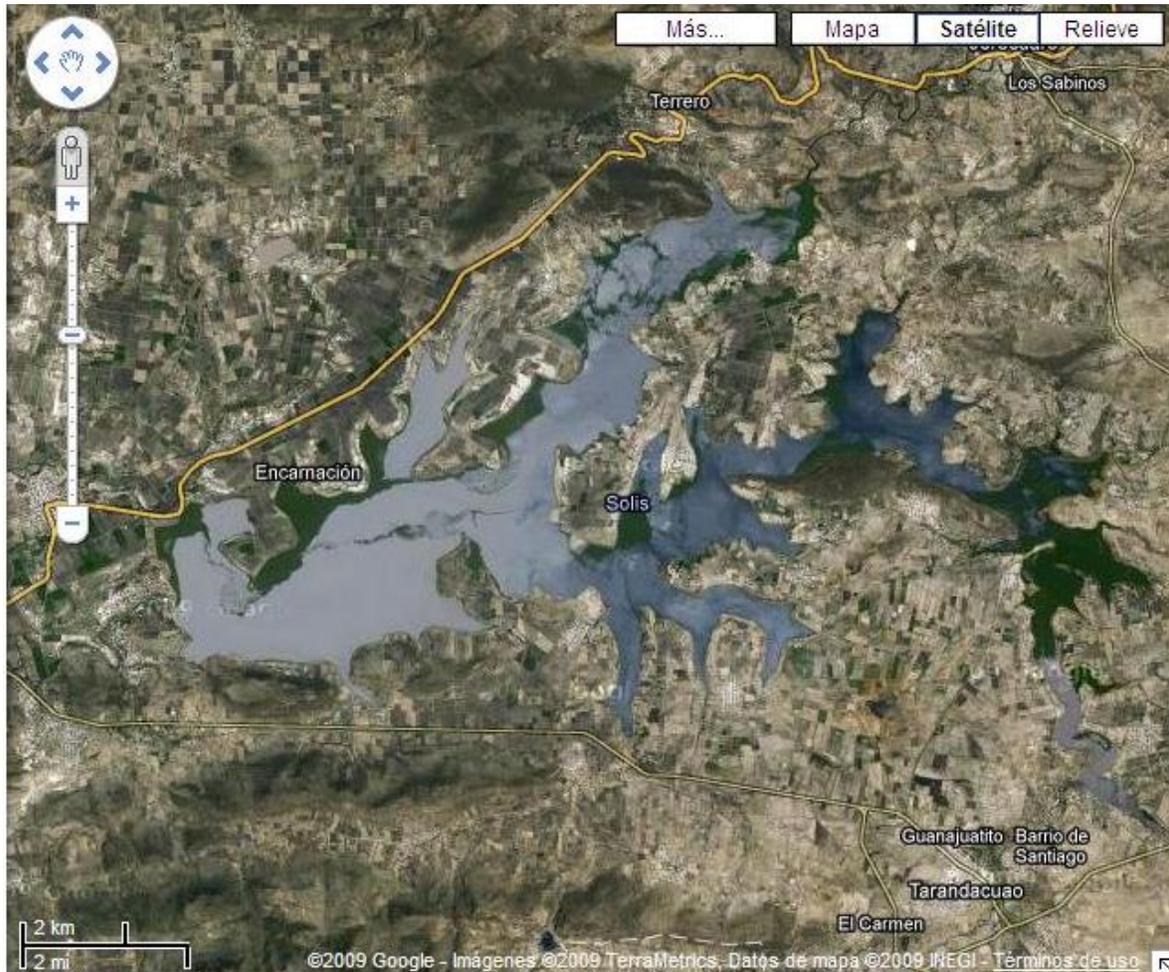


Fig. 4.4 Presa Solís
maps.google.com.mx

Descripción de la Presa (Atlas de presas de México, 2006): Con objeto de aprovechar las aguas del río Lerma en usos múltiples, se construyó la presa Solís, la cual consiste esencialmente en una cortina del tipo de tierra, provista en su margen derecha de una obra de toma, y en su margen izquierda de un vertedor de excedencias del tipo de cresta libre con canal lateral.

Información General

Localización: La presa Solís se localiza a 5 km aguas arriba de la población de Acámbaro, municipio del mismo nombre, estado de Guanajuato.

Propósito: La presa Solís, con capacidad de 800 millones de m³, forma parte de un sistema de almacenamientos (presa Tepuxtepec y laguna de Yuriria), y su principal propósito es dar riego a una superficie de 116 000 ha en los distritos del alto y bajo río Lerma.

Datos Hidrológicos

Río: Lerma

Cuenca: Con una área de 8 483 ha localizada en el Edo. de Guanajuato.

Escurrimiento anual:

Período: Datos observados de 1939 a 1966.

Máximo: 2568 millones de m³.

Mínimo: 465 millones de m³.

Promedio: 959 millones de m³.

Avenida máxima registrada: 1287 m³/s, 12 septiembre de 1958.

Características de almacenamiento

Área de embalse:

A la elevación 1 890.75 m, cresta del vertedor.

A la elevación 1 893.70 m, nivel aguas máximas.

Capacidad del vaso, en millones de m³: Total hasta la elevación 1890.75 m cresta del vertedor: 800; azolves 55; útil 745; superalmacenamiento 180.

Cortina:

Descripción: De tipo tierra, con corazón impermeable central, amplio y asimétrico y respaldos de roca, con lo que se protegen los paramentos exteriores contra oleaje y erosión.

Dimensiones: Altura total 51.70 m; sobre el lecho del río 46.70 m; longitud por la corona 780.00 m; ancho de la corona 10.00 m; en la base 275.00 m. El eje de la cortina es normal a la ladera izquierda hasta el centro del cauce, donde tiene una deflexión de 48° hacia aguas abajo, para adaptarse a la topografía de la

margen derecha. Taludes aguas arriba 2.75:1, aguas abajo 2.5:1, con banquetas de 10.00 m a las elevaciones 1 878.00 m y 1 859.00 m.

Elevaciones: Del desplante de la cimentación 1 845.00 m; del fondo del cauce 1850.00 m; de la corona de la cortina 1 896.70 m.

Bordo libre: 3.00 m.

Obra de excedencias

Descripción: La obra de excedencias consiste en un vertedor del tipo de cresta libre, con canal lateral alojado en la margen izquierda. Consta de un canal colector conectado con un canal de descarga; este último consta de tanque amortiguador, localizado en la Estación 0 + 200 para continuar su descarga al lecho del río. Está construido de concreto y mampostería.

Avenida de diseño: 2 200 m³/s.

Longitud de la cresta libre: 135.00 m.

Capacidad máxima de descarga: 1 380 m³/s, con carga de 2.95 m.

Características del canal de descarga y dispositivo para disipar la energía: El canal de descarga, con longitud de 120.00 m, plantilla de 30.00 m, a la elevación 1 882.00 m y taludes de 1:1, conecta con el canal de descarga, con longitud de 650.00 m, taludes de 1:1, a excepción del tramo comprendido entre las estaciones 0+240 y 0+288, donde se localiza propiamente el tanque amortiguador; tiene taludes de 0.5:1, plantilla variable de 30.00 a 37.00 m de anchura. La zona que comprende el tanque amortiguador tiene una longitud total de 185.30 m y consta de una caída en curva de 29.75 m, en la que a su pie se encuentra una serie de deflectores de 3.5 m de altura para disipar la energía.

Obra de toma

Descripción: Está situada en la margen derecha; consiste esencialmente en dos túneles que se usaron a la vez como obra de desvío; en los extremos de aguas arriba de ambos túneles, se instalaron rejillas en estructuras de concreto reforzado de forma cilíndrica, que sirven de transición de entrada a los túneles, con los que enlazan por medio de codos. Los túneles están provistos de tapones centrales de concreto, donde tienen su origen las turbinas de presión, con sus válvulas respectivas de emergencia y de servicio.

Gasto máximo de diseño: 90 m³/s.

Características generales de las diferentes partes que componen la obra de toma

Túneles: Dos túneles de sección circular, de 6.00 m de diámetro, 273.00 m de longitud cada uno, pendiente de 0.0014, revestidos de concreto simple. Se inyectaron mediante 8 perforaciones radiales de 4.00 m de profundidad y espaciados 3.00 m a todo lo largo de los túneles.

Tapones: De concreto de 17.00 m de longitud.

Tuberías de presión: De acero de 3.05 m (120") de diámetro, 163.75 m de longitud y 9.5 mm (3/8") de espesor. A la salida del túnel número 1 se desprende de la tubería de 3.05 m, otra tubería de 0.914 m (36") de diámetro y 85.00 m de longitud, que descarga en un tanque amortiguador para alimentar al canal San Cristóbal, y dar servicio a los terrenos de la margen derecha de la Unidad Acámbaro.

Rejillas: Montadas en estructuras de concreto reforzado, de forma cilíndrica, de 10.00 m de altura, que sirven de transición de entrada a los túneles. La boca de entrada tiene 5.00 m de diámetro. Tiene su umbral a la elevación 1862.50m.

Estructura disipadora: A la salida del túnel número 2, está localizada una estructura de concreto que consiste esencialmente en una pantalla de columnas de lámina de acero de 3/8" de espesor, rellenas de concreto y de 3.50 m de altura, formada por 3 hileras separadas 1.00 m en ambos sentidos; la hilera del centro está dispuesta de tal manera que el centro de las columnas coincide con el centro de los claros de las otras 2 hileras; esta estructura tiene por objeto disipar la energía del agua a la salida del túnel número 2.

Válvulas de operación

Servicio: Túnel número 1. Válvula de agujas Larner Johnson, de 3.05 x 2.52 m (120" x 99"), de descarga libre, con mecanismos de operación eléctrico y manual. Peso total 55909 Kg.

Túnel número 2. Válvula de mariposa de 3.05 m (120") de diámetro, con mecanismo de operación eléctrico y manual. Peso total 39 228 kg.

Emergencia: En túneles, válvulas de mariposa de 3.60 m (142") de diámetro, con mecanismos de operación eléctrico y manual. Peso total de cada válvula 34 182 kg.

Operación

Fecha en que entró en servicio: 1933.

Extracción media: 625.3 millones de m³ para riego de 116 000 ha.

Almacenamiento máximo: 800 millones de m³.

Gasto máximo derramado: 785 m³/s, el 12 de septiembre de 1958
(Atlas de Presas de México, 2006).



Fig. 4.5 Cortina de la Presa Solís
(Atlas de presas de México)



Fig. 4.6 Panorámica de la Presa Solís
(Atlas de presas de México)

5. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO

5.1. Generalidades

De acuerdo con los objetivos establecidos previamente se incluyen los resultados de una primera fase de la modelación hidrológica de la cuenca, consistente en la aportación del río Lerma hasta la ciudad de Salamanca. Esto con el fin de contar con una magnitud preliminar de los gastos máximos para diferentes niveles de probabilidad, establecidos a través del período de retorno que se esperan en el río, el cual es una de las partes principales del sistema de drenaje de la zona urbana.

La modelación hidrológica de la cuenca definida ésta hasta la estación hidrométrica Salamanca se llevó a cabo con el programa de cómputo denominado Sistema de Modelación Hidrológica del Centro de Ingeniería Hidrológica (*Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System*), HEC-HMS por sus siglas en inglés, el cual fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América. Actualmente, por ser de uso abierto, este software es de aplicación extensiva tanto en nuestro país como en muchas otras naciones. En México por ejemplo, su aplicación es aceptada por la Comisión Nacional del Agua. El programa es de uso público y está disponible a través del portal del *US Army Corps of Engineers* (www.usarmy.mil).

El modelo conceptual de cuenca considerado en este estudio establece que la cuenca es la representación de todo el sistema y considera la forma en cómo se conectan las subcuencas, las cuales van confluyendo, hacia donde se dirige el flujo. Entre los elementos principales del modelo se tiene las subcuencas (*basin*), los tramos de río de la red de corrientes (*reach*) son tramos de río y las confluencias o uniones de tramos de ríos (*junctions*). Otros elementos hidrológicos que pueden incluirse son, entre otros, los almacenamientos, como presas o bordos. En nuestro caso esta parte fue significativa para la modelación hidrológica preliminar, dado que se decidió sólo considerar la porción de la cuenca definida entre la presa Solís y la estación hidrométrica Salamanca. En virtud de que la presa Solís establece un control de los escurrimientos en la cuenca, se ha

considerado en este ejercicio que las salidas de la presa son conocidas, lo cual corresponde al hecho de que se conocen con antelación las políticas de operación del embalse. En este contexto fueron considerados varios escenarios de operación de la presa Solís. El modelo considera una *entrada* y una *salida*, la primera corresponde a los volúmenes que egresan de la presa Solís y la salida donde termina el análisis (Estación Salamanca) y donde es posible apreciar lo que sucede al momento de “correr” el modelo para diferentes escenarios de lluvia.

5.2. Delimitación de subcuencas

Para comenzar con la modelación hidrológica, primeramente fue necesaria la determinación de las subcuencas, y para ello se usó el paquete Arc Gis 9.3, y la herramienta *Arc Hydro*, incluida en dicho software, esta herramienta utiliza el MDE el cual es sujeto a una serie de procesos incluidos en la pestaña “*terrain preprocessing*”. Al finalizar el programa convierte el MDE en un *shape*, o bien en una imagen que puede ser manipulada por Arc Gis.

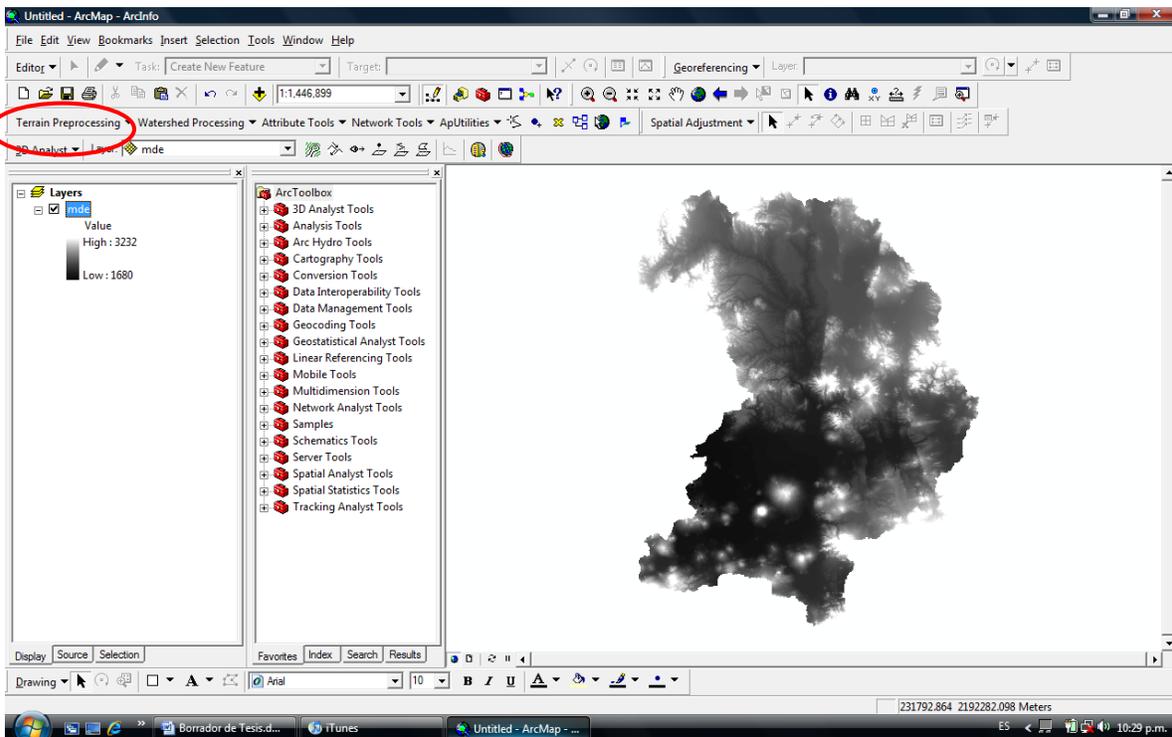


Fig.5.1 MDE listo para ser procesado

El primer proceso es “*fill sinks*”, con el cual el programa busca errores en el MDE y los corrige. A simple vista el MDE no cambia en lo absoluto, sin embargo después de realizar esta acción se tiene un mapa de bits o *raster*, de nombre “*fil*” que será usado en el siguiente proceso y se encuentra libre de errores.

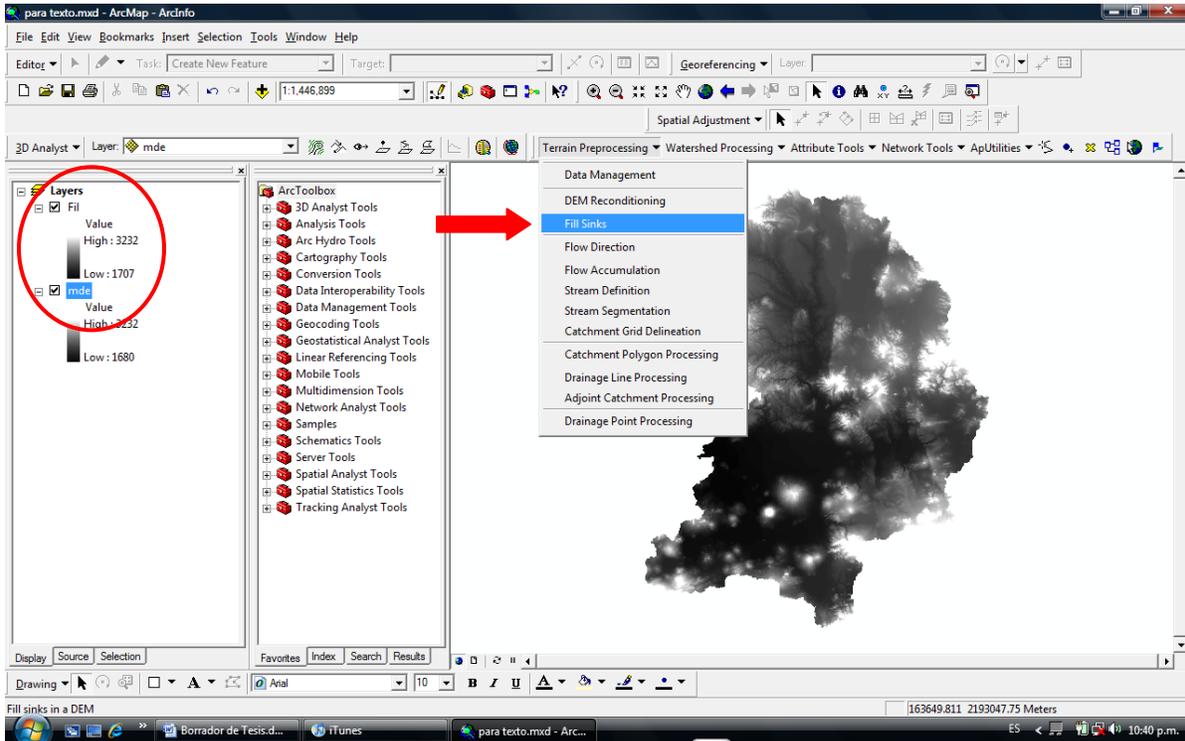


Fig.5.2 MDE después de “fill sinks”

Se continúa con “*flow direction*”, el cual usa el raster “*Fil*”, y al finalizar el proceso marca puntos de igual elevación con colores, y de acuerdo a un código especial, va determinando la dirección del flujo; el nombre del mapa de bits que se genera al terminar este proceso es “*Fdr*”.

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

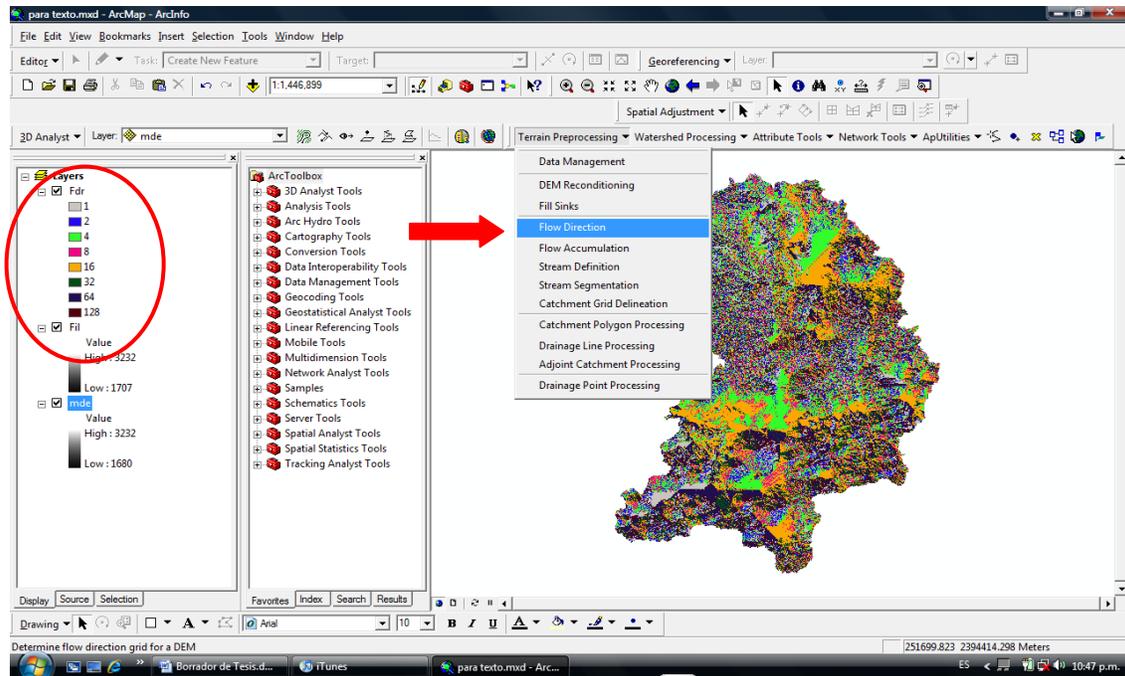


Fig.5.3 MDE después de “flow direction”

A continuación se ejecuta la opción “*Flow Accumulation*”; a partir del mapa de bits “*Fdr*” se acumulan los puntos de igual elevación y se van determinando, en primera instancia los ríos al finalizar este proceso se tiene un nuevo mapa de bits de nombre “*Fac*”.

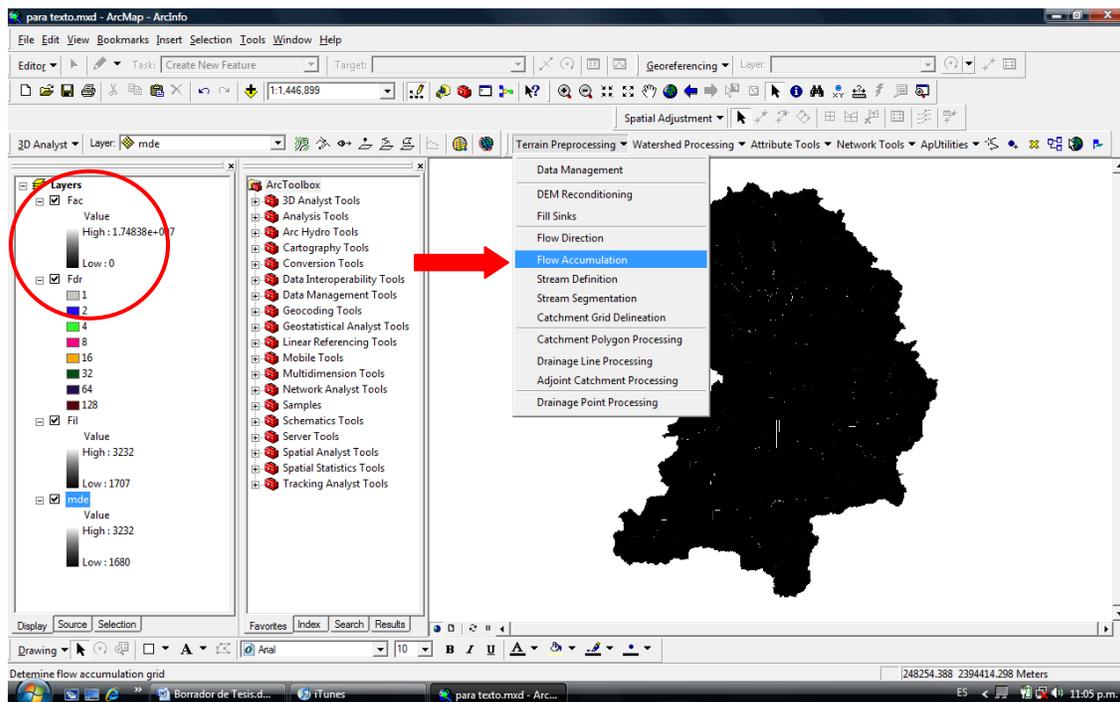


Fig.5.4 MDE después de “flow accumulation”

El siguiente proceso se llama “*stream definition*”, el cual usa el “*Fac*”, y también se pide un “umbral” el cual indica el número de celdas o “rejillas” que va a tomar el software para generar una subcuenca. Entre más grande sea este umbral genera subcuencas grandes y con ríos poco definidos, un umbral pequeño genera muchas cuencas pequeñas pero un sistema de ríos mucho más detallado. En esta parte se necesita saber más o menos el tamaño que se desea para las cuencas, y hacer el proceso en varias ocasiones hasta tener los resultados deseados de acuerdo con los objetivos, en este caso se buscó que las cuencas no fueran demasiadas ni muy pequeñas, pero tampoco con un área mayor a 2000 km².

Finalmente este proceso genera un mapa de bits de nombre “*Str*” que no cambia demasiado en aspecto con el del anterior proceso.

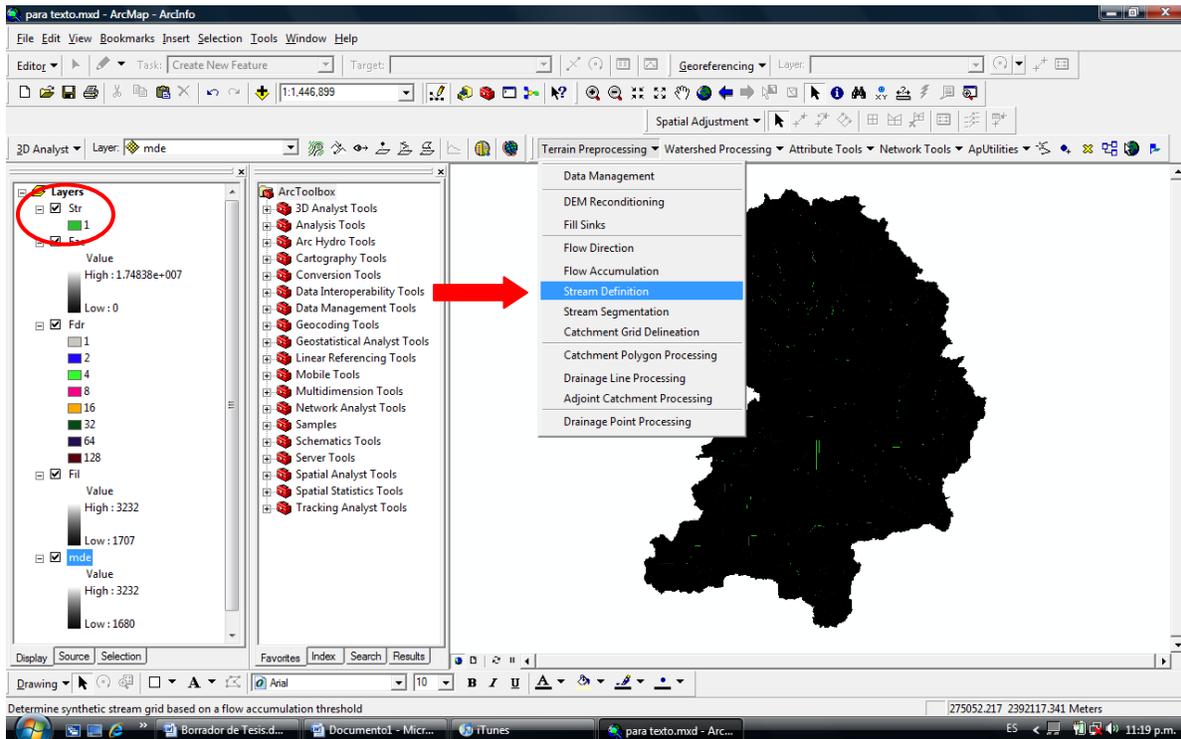


Fig.5.5 MDE después de “*stream definition*”

Después sigue “*Stream segmentation*”, este usa dos mapas de bits para realizar el proceso, el “*Fdr*” y el “*Str*” y lo que hace es dividir los ríos en puntos específicos donde se generarán sus respectivas cuencas. Al terminar el proceso tenemos un mapa de bits de nombre “*Lnk*”.

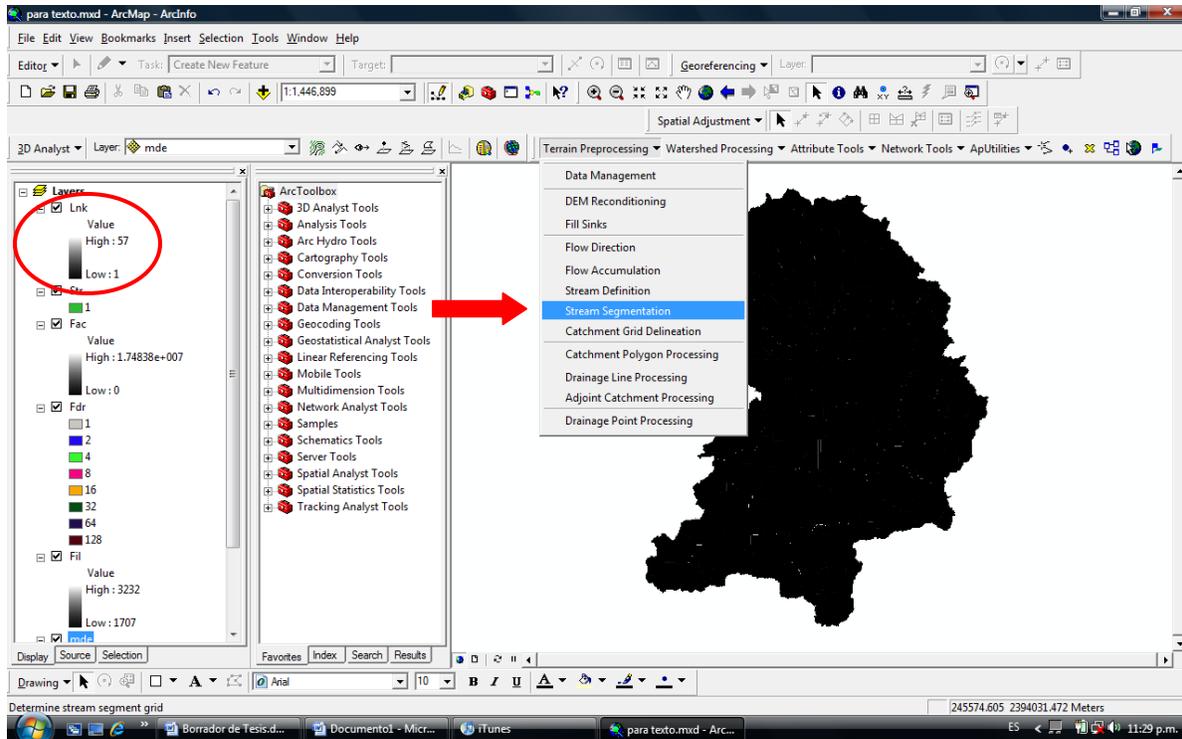


Fig.5.6 MDE después de “stream segmentation”

A continuación se ejecuta el proceso “*Catchment Grid Delineation*”, y al igual que el anterior usa dos mapas de bits, el “*Fdr*” y el “*Lnk*” y lo que hace es mostrar a las cuencas de manera preliminar todavía como un mapa de bits (de nombre “*Cat*”) y no como *shape*.

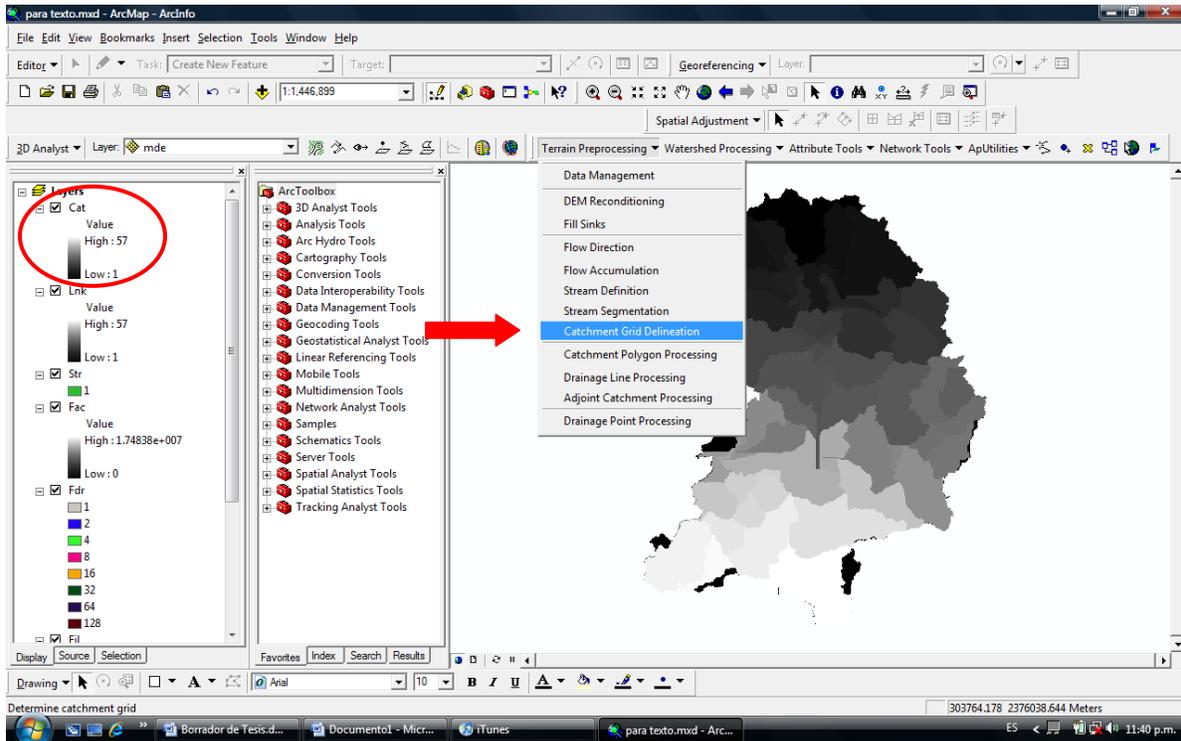


Fig.5.7 MDE después de “catchment grid delineation”

Finalmente los últimos dos procesos usados son “*Catchment polygon processing*” y “*Drainage Line Processing*”, que generan finalmente los *shapes* de las subcuencas y de los ríos respectivamente, y ya pueden ser manipulados directamente por Arc Gis, aún así se pueden presentar algunos detalles en dichos *shapes*, pero se pueden corregir a conveniencia con el editor del software. En el mapa de la figura 5.8 se muestra las subcuencas que se obtuvieron después de realizar el proceso y editar el *shape*, así como una red de corrientes obtenida en otro proceso donde se usó un umbral más pequeño para que mostrara los ríos más detallados:

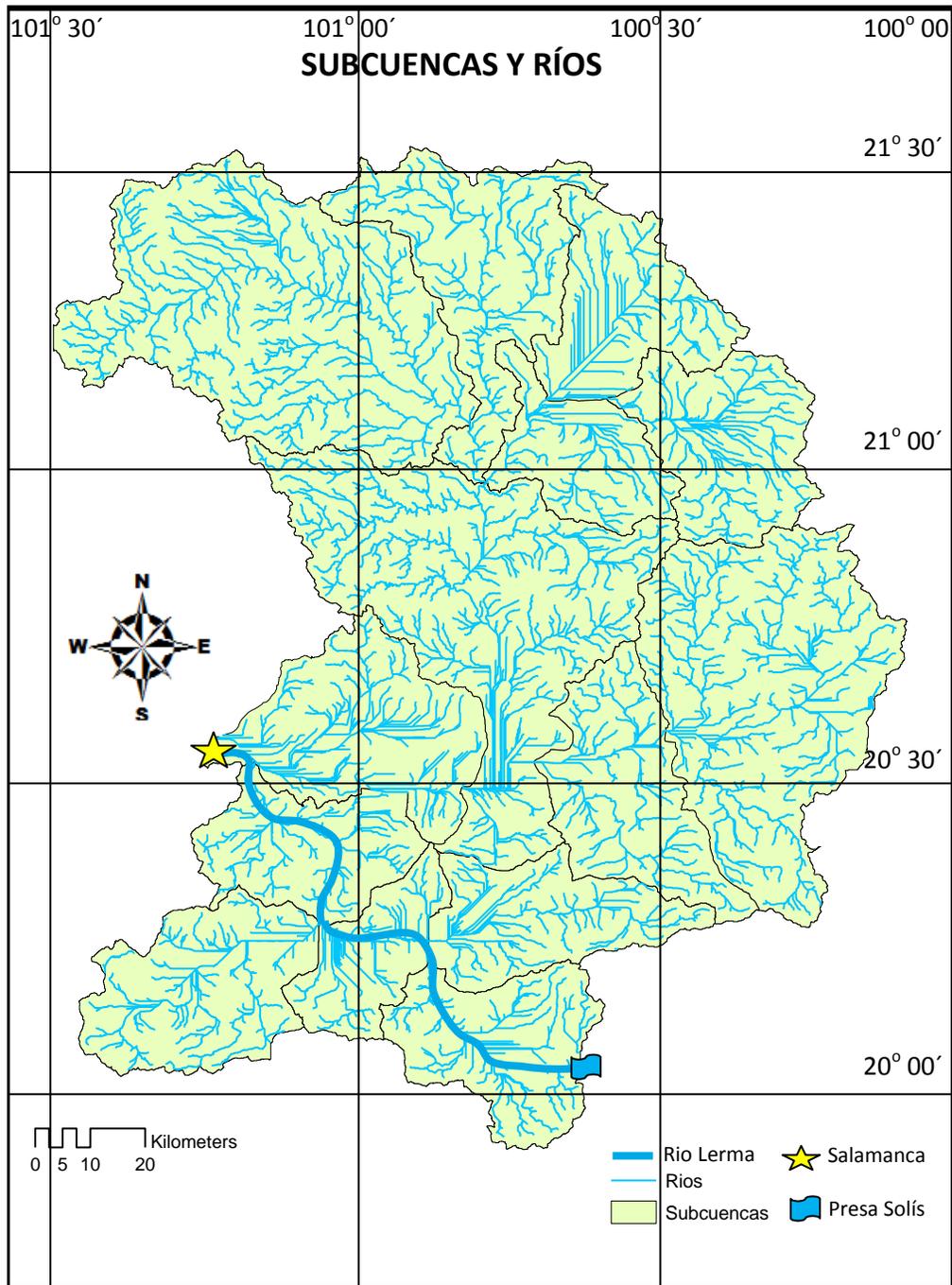


Fig.5.8 Subcuencas y ríos definidos

Ya teniendo el *shape* con las subcuencas se pueden calcular las áreas de cada una usando también el Arc Gis. De esta manera se aprecia en el mapa de la figura 5.9 las subcuencas con un número identificador mostrando su área en km².

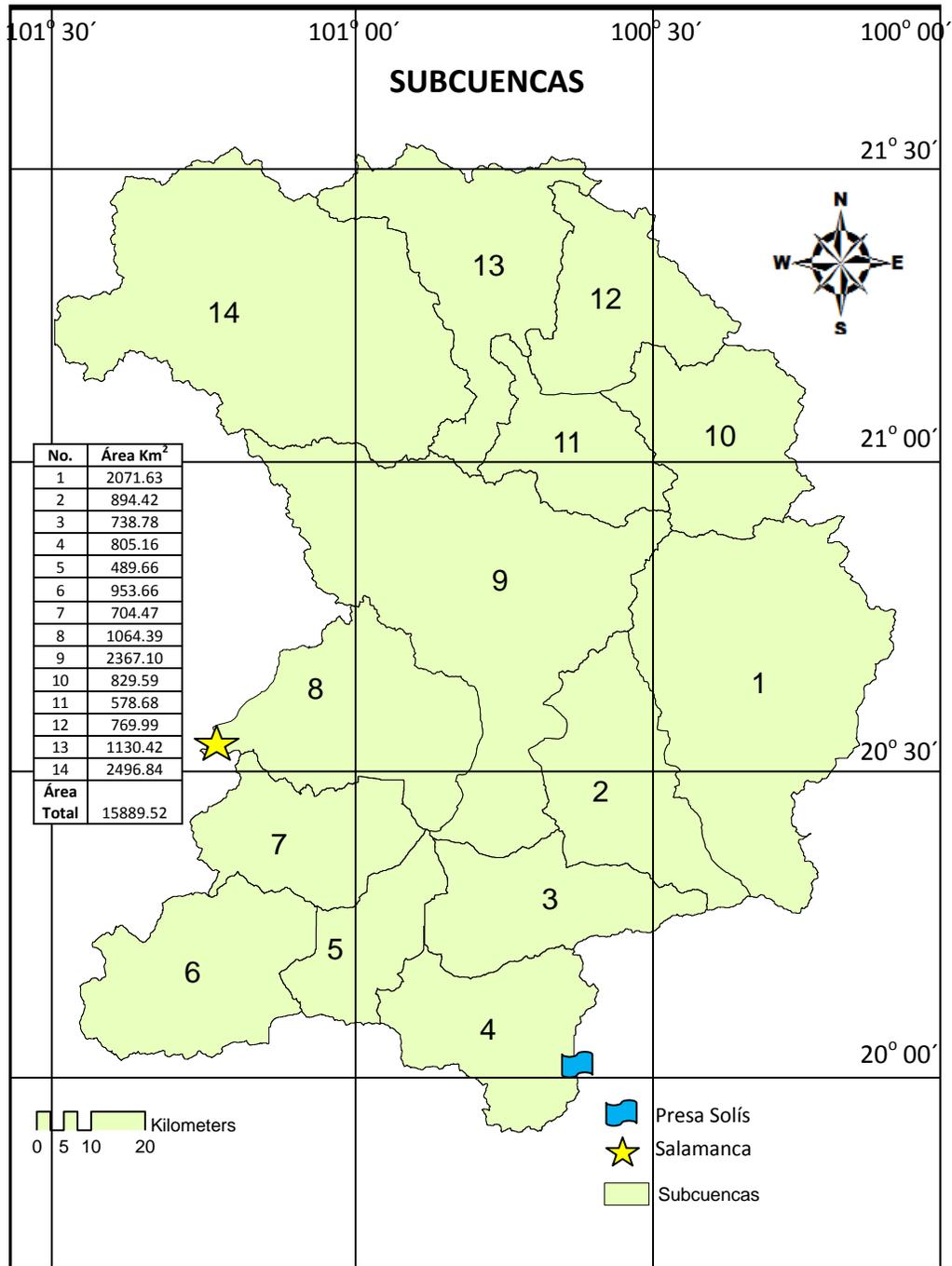


Fig.5.9 Áreas de las subcuencas

5.3. Análisis de datos de precipitación

Retomando lo visto en la sección 4.2, se encontraron 63 estaciones climatológicas que cumplieron con las condiciones que se impusieron (30 años de registro y más de 80% de datos completos). Lo que se hizo a continuación fue un análisis de frecuencias con ayuda del software SEAF (Sistema Experto para Análisis de Frecuencias), desarrollado por Marcio de Oliveira de la Universidad de Minas Gerais en Brasil (de Oliveira y Naghettini, 2008).

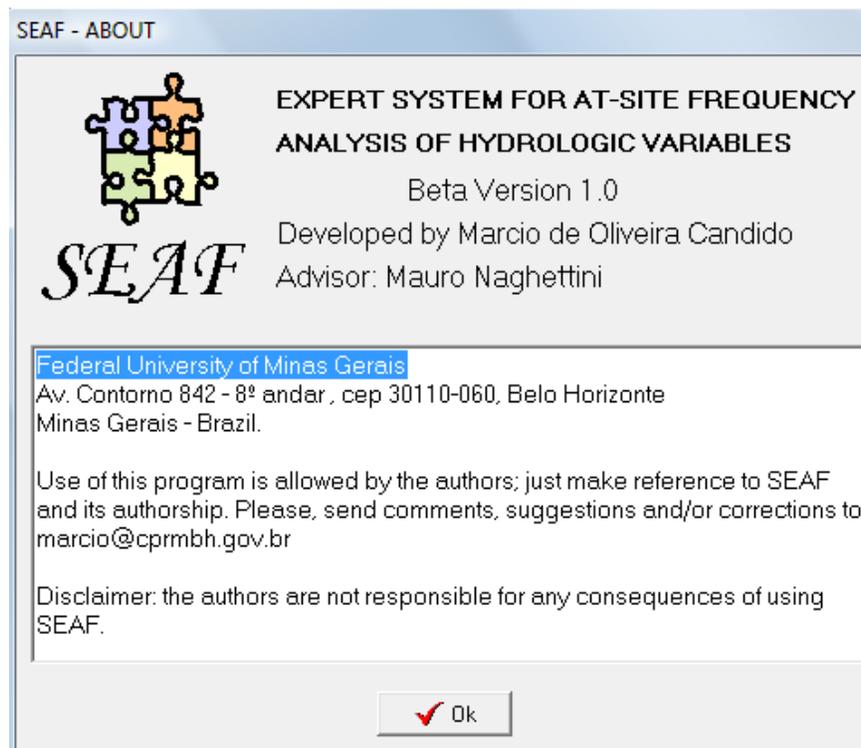


Fig.5.10 Acerca del SEAF

Primeramente se extrajeron las lluvias máximas anuales de cada una de las estaciones, y de cada uno de sus años de registro con ayuda del ERIC III, las tablas con dichos datos se encuentran en el anexo I.

Nota: Los años en donde se tienen las siglas ND representan aquellos años donde no existe un dato registrado en ERIC III, y no fueron considerados como datos para el análisis de frecuencia ya que son inexistentes, tampoco se trataron de completar. En el momento de hacer el análisis de frecuencias sólo interesa

saber cómo se puede ajustar la serie de datos para poder asignarle una función, y de este modo poder determinar lluvias para diferentes periodos de retorno, y el hecho de no considerar esos “datos” genera menos error que poner valores obtenidos por algún método pero que finalmente no son reales.

Se analizaron las series de datos en el SEAF de la siguiente manera:

La serie de datos de la lluvias máximas anuales de cada estación se guardó como archivo de texto (omitiendo los datos con valor de cero o ND, porque en el momento del análisis generan errores) para poder introducirlos al SEAF.

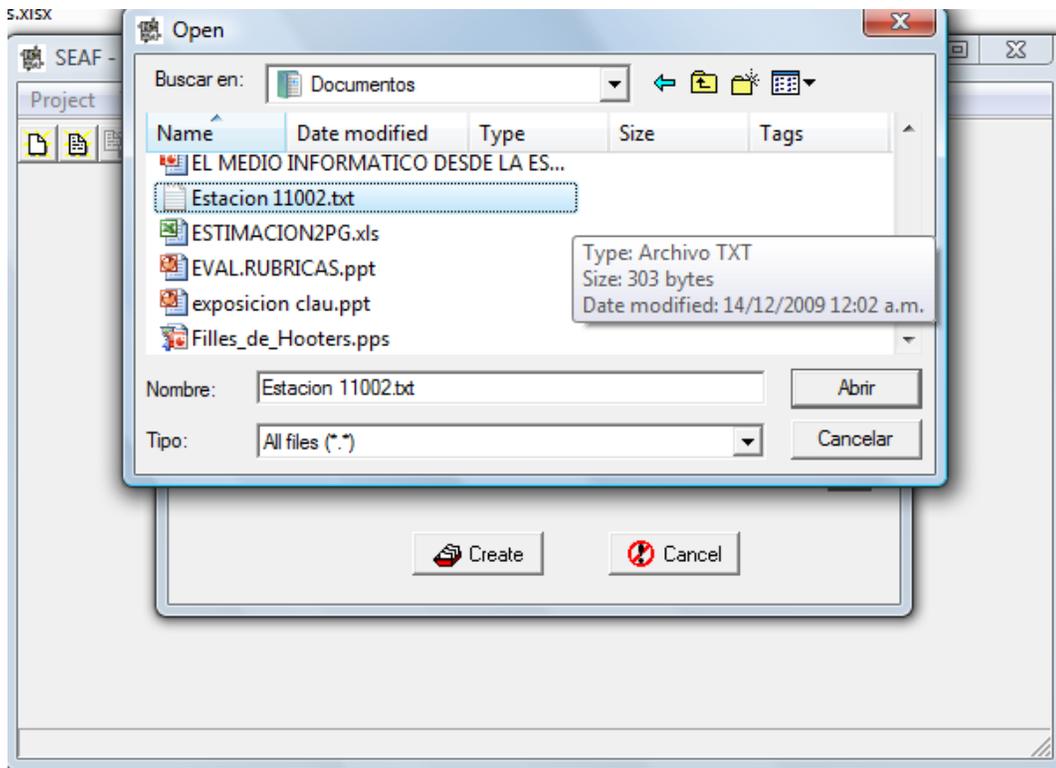


Fig.5.11 Forma de introducir las series de datos al SEAF

Después simplemente se le da *click* en *create* y el programa realiza el proceso, al terminar muestra los resultados de la siguiente manera:

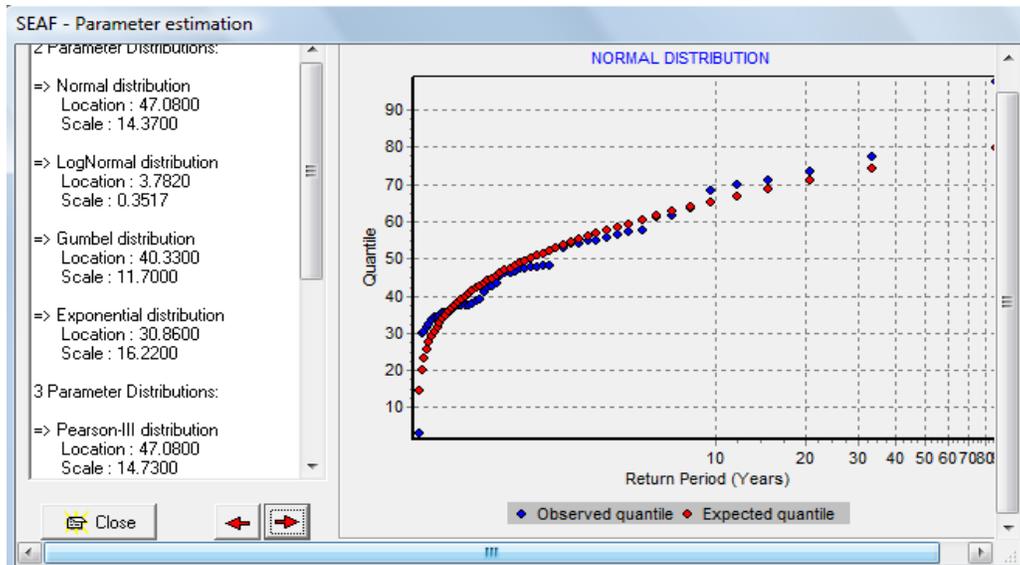


Fig.5.12 Diferentes ajustes para las series de datos

Esta pantalla muestra el ajuste de los datos a diferentes funciones, y la respectiva correlación con cada una de ellas, de este modo sabemos cual se ajusta mejor a la serie de datos para usarla, y de ahí estimar la precipitación para diferentes periodos de retorno. Al final del análisis se muestra una pantalla con un resumen con lo cual facilita la determinación del mejor ajuste:

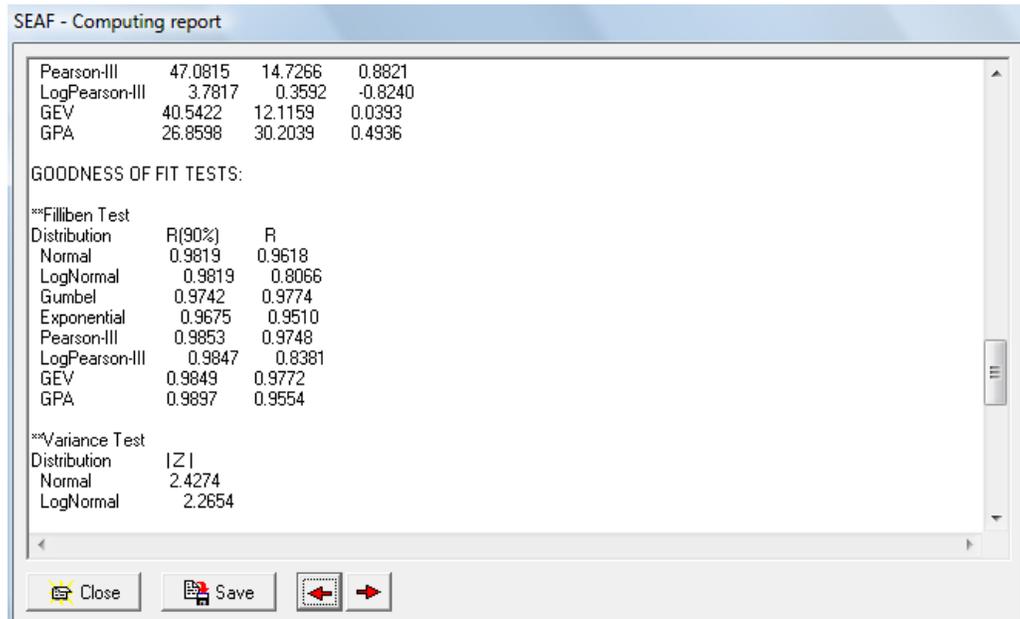


Fig.5.13 Resumen del análisis

Este proceso se realizó con los datos de las 63 estaciones y se obtuvieron los siguientes resultados resumidos en la siguiente tabla:

Estación	Función con mejor ajuste	Precipitación diaria (mm) para los diferentes periodos de retorno						
		2 años	5 años	10 años	50 años	100 años	200 años	1000 años
11002	Gumbel	44.616	57.877	66.656	85.978	94.147	102.285	142.889
11004	Gumbel	44.646	58.304	67.346	87.247	95.660	104.043	145.863
11005	Gumbel	49.812	66.079	76.850	100.553	110.574	120.558	170.368
11006	Gumbel	47.015	63.33	74.131	97.905	107.955	117.968	167.925
11007	Gumbel	52.413	69.428	80.693	105.485	115.967	126.41	178.509
11008	Gumbel	54.400	74.905	88.482	118.361	130.993	143.578	206.367
11009	Gumbel	48.386	65.466	76.775	101.663	112.185	122.668	174.968
11010	Gumbel	40.708	55.227	64.839	85.994	94.937	103.848	148.303
11011	Pearson-III	52.712	64.231	70.588	82.316	86.632	90.663	99.223
11013	Gumbel	47.424	63.057	73.408	96.188	105.818	115.413	163.282
11015	Gumbel	36.87	48.587	56.345	73.419	80.638	87.829	123.709
11017	Gumbel	42.471	60.027	71.651	97.234	108.049	118.825	172.583
11021	Gumbel	45.068	64.093	76.689	104.411	116.131	127.808	186.062
11022	Gumbel	52.006	69.349	80.831	106.102	116.786	127.43	180.535
11026	Gumbel	39.769	53.907	63.268	83.87	92.579	101.257	144.549
11028	Gumbel	51.853	68.365	79.297	103.356	113.527	123.662	174.22
11033	Gumbel	43.29	57.39	66.725	87.27	95.956	104.609	147.783
11041	Gumbel	49.85	64.268	73.814	94.823	103.705	112.554	156.703
11042	Gumbel	43.73	58.424	68.152	89.562	98.613	107.631	152.622
11043	Gumbel	36.386	49.462	58.119	77.173	85.228	93.253	133.292
11044	Gumbel	45.782	60.446	70.154	91.522	100.555	109.556	154.457
11045	Gumbel	49.29	62.533	71.301	90.599	98.757	106.885	147.437
11047	Gumbel	47.265	67.616	81.09	110.744	123.281	135.771	198.087
11048	Gumbel	48.642	62.168	71.123	90.832	99.165	107.467	148.884
11049	Gumbel	47.847	62.352	71.957	93.094	102.03	110.933	155.351
11051	Gumbel	46.095	59.484	68.349	87.858	96.106	104.324	145.321
11052	Gumbel	44.22	59.482	69.586	91.824	101.226	110.593	157.324
11053	Gumbel	41.724	56.107	65.63	86.588	95.448	104.276	148.317
11054	Gumbel	45.811	59.337	68.292	88	96.332	104.633	146.049
11056	Gumbel	55.124	72.585	84.145	109.588	120.345	131.062	184.528
11057	Gumbel	43.943	60.547	71.541	95.735	105.963	116.154	166.996
11060	Gumbel	47.503	60.39	68.923	87.702	95.641	103.551	143.013
11061	Gumbel	44.807	60.749	71.305	94.536	104.357	114.142	162.96
11063	Gumbel	37.254	53.969	65.035	89.39	99.686	109.945	161.125

11064	Gumbel	37.276	53.231	63.795	87.043	96.872	106.664	155.519
11065	Gumbel	42.727	57.162	66.719	87.753	96.645	105.505	149.705
11066	Gumbel	42.561	54.949	63.151	81.202	88.833	96.437	134.37
11067	Gumbel	41.626	58.979	70.468	95.754	106.444	117.094	170.23
11068	Gumbel	36.972	55.864	68.372	95.899	107.537	119.132	176.979
11070	Gumbel	51.709	67.175	77.414	99.95	109.477	118.969	166.325
11071	Gumbel	47.133	64.383	75.804	100.939	111.565	122.152	174.97
11072	Gumbel	48.863	64.052	74.109	96.242	105.599	114.922	161.433
11076	Gumbel	40.594	53.437	61.94	80.655	88.566	96.449	135.774
11078	Gumbel	45.724	62.088	72.923	96.768	106.849	116.893	167.001
11079	Gumbel	43.525	60.581	71.873	96.726	107.232	117.7	169.925
11080	Gumbel	50.779	79.445	98.424	140.194	157.853	175.447	263.222
11082	Gumbel	46.832	62.759	73.305	96.514	106.326	116.102	164.873
11084	Gumbel	48.499	64.076	74.39	97.089	106.685	116.246	163.945
11085	Gumbel	49.844	64.67	74.487	96.091	105.224	114.324	159.724
11088	Gumbel	44.523	59.349	69.166	90.77	99.903	109.003	154.401
11094	Gumbel	54.91	75.341	88.868	118.638	131.224	143.764	206.324
11096	Gumbel	51.278	67.208	77.755	100.967	110.781	120.558	169.336
11105	Gumbel	45.198	64.862	77.882	106.536	118.649	130.719	190.932
11107	Gumbel	40.163	56.361	67.086	90.69	100.669	110.611	160.212
11118	Gumbel	46.721	65.159	77.367	104.235	115.593	126.91	183.37
11122	Gumbel	44.162	57.616	66.524	86.129	94.417	102.675	143.872
16027	Gumbel	35.817	50.464	60.162	81.506	90.528	99.519	144.369
16052	Gumbel	38.295	47.147	53.007	65.906	71.359	76.792	103.896
22004	Gumbel	47.33	63.337	73.935	97.259	107.12	116.944	165.958
22006	Gumbel	46.406	61.114	70.852	92.283	101.344	110.371	155.407
22011	Gumbel	55.002	79.183	95.193	130.428	145.323	160.165	234.208
22024	Gumbel	58.064	93.131	116.349	167.448	189.05	210.573	317.952
24093	Gumbel	37.579	57.637	70.917	100.144	112.5	124.811	186.23

Cuadro 5.1 Precipitaciones diarias (mm) para diferentes periodos de retorno de cada una de las estaciones

5.4. Construcción del modelo en HEC-HMS

Como se vio en la sección 5.1, para la modelación hidrológica de las subcuencas se usará el software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System), el cual fue desarrollado por el cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos de América y es de uso público.

En la página <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/> se puede descargar dicho software.

Para el uso de HEC-HMS, según Ramírez (2001), se crea un proyecto, el cual se almacena en la computadora en un subdirectorio con el nombre asignado.

El proyecto incluye:

- 1 o más modelos de la cuenca (basin model)
- 1 o más modelos de precipitación (meteorological model)
- 1 o más especificaciones de control (control specifications)

5.4.1. Modelo de cuenca

a) Subcuencas: El modelo de cuenca es la representación de todo el sistema y la forma en cómo se conectan las subcuencas, hacia donde se dirige el flujo etc. En la figura 5.14 se muestra el esquema de la cuenca en HEC-HMS, donde se observa la forma cómo se “conectan” todas las subcuencas, los *reach* son tramos de río y las *junctions* son las confluencias, las cuales indican que dos o más subcuencas unen su aportación hacia otra, también es posible indicar donde exista una presa o vaso de almacenamiento, como en este caso, la presa Solís. Se indica también una *entrada* y una *salida*, la primera para indicar la cantidad de agua que entra a la presa Solís, y la segunda donde termina el análisis Salamanca Gto. Es posible apreciar que es lo que sucede al momento de “correr” el modelo con diferentes escenarios de lluvia.

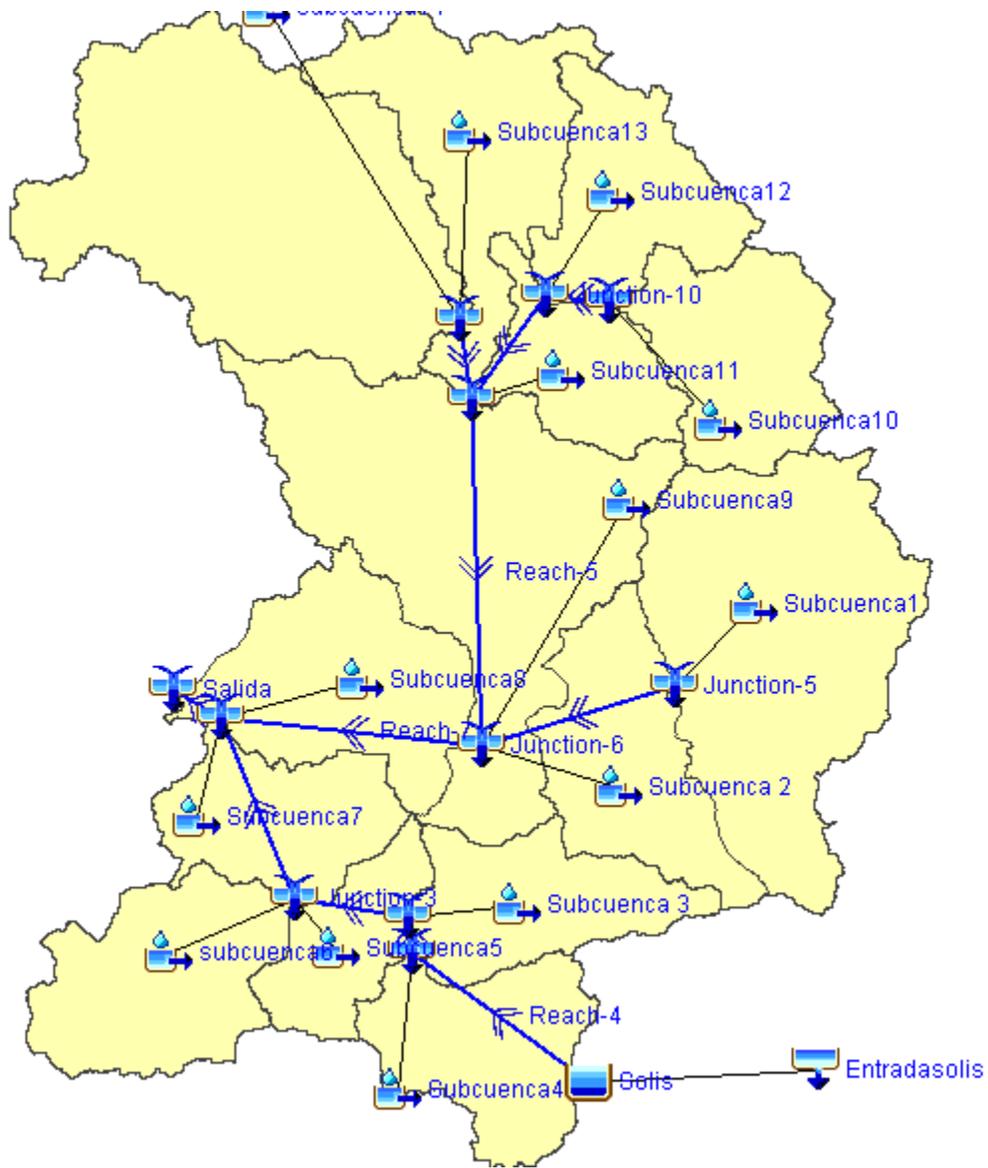


Fig. 5.14 Modelo hidrológico en HEC-HMS

Para cada subcuenca se aplicaron los modelos del SCS (Soil Conservation Service), el modelo de pérdidas (*loss method*) el cual relaciona la altura de lluvia efectiva (P_e), con la altura de lluvia total (P) y la abstracción inicial después de que se llenan las depresiones (I_a), y la retención potencial máxima (S) (Aparicio, 1997), (CNA, 1987).

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Las alturas de lluvia efectiva incremental se determinan calculando las diferencias sucesivas en el total de alturas efectivas.

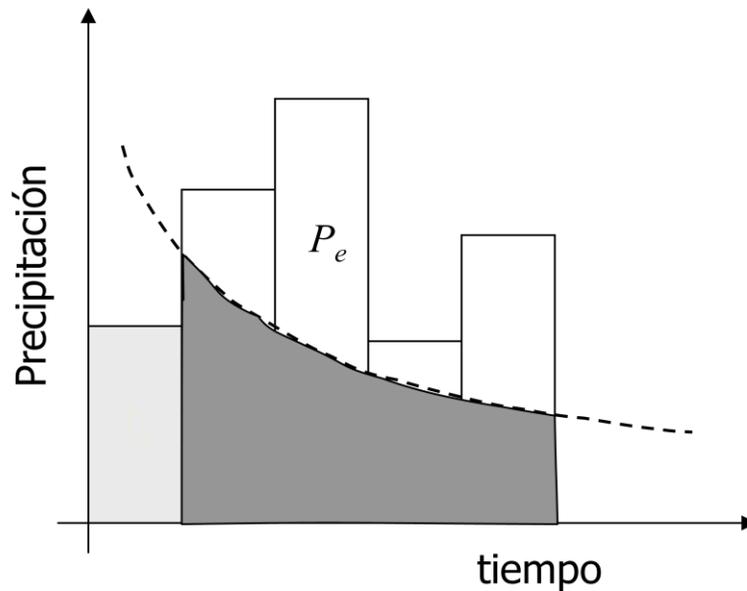


Fig. 5.15 Gráfica de P contra tiempo
(Aparicio, 1997)

De gráficas de P contra tiempo, el SCS encontró relaciones y dedujo una forma de estimar S. Se utiliza el número de curva N:

$$S = \frac{1000 - 10N}{N}$$

El número de curva N tabulado en función del grupo de suelo, cubierta vegetal y condición de humedad antecedente.

De análisis de cuencas pequeñas (agrícolas) el SCS sugiere que una condición promedio razonable es:

$$I_a = 0.2S$$

HEC-HMS realiza automáticamente todo este proceso y lo único que necesita como dato es el número de curva N. El cual fue calculado con la herramienta: *ArcCN-Runoff* de Arc Gis 9.3, en donde se usaron las capas de vegetación, uso de suelos y edafología, y el software automáticamente calculó dichos N que se presentan a continuación:

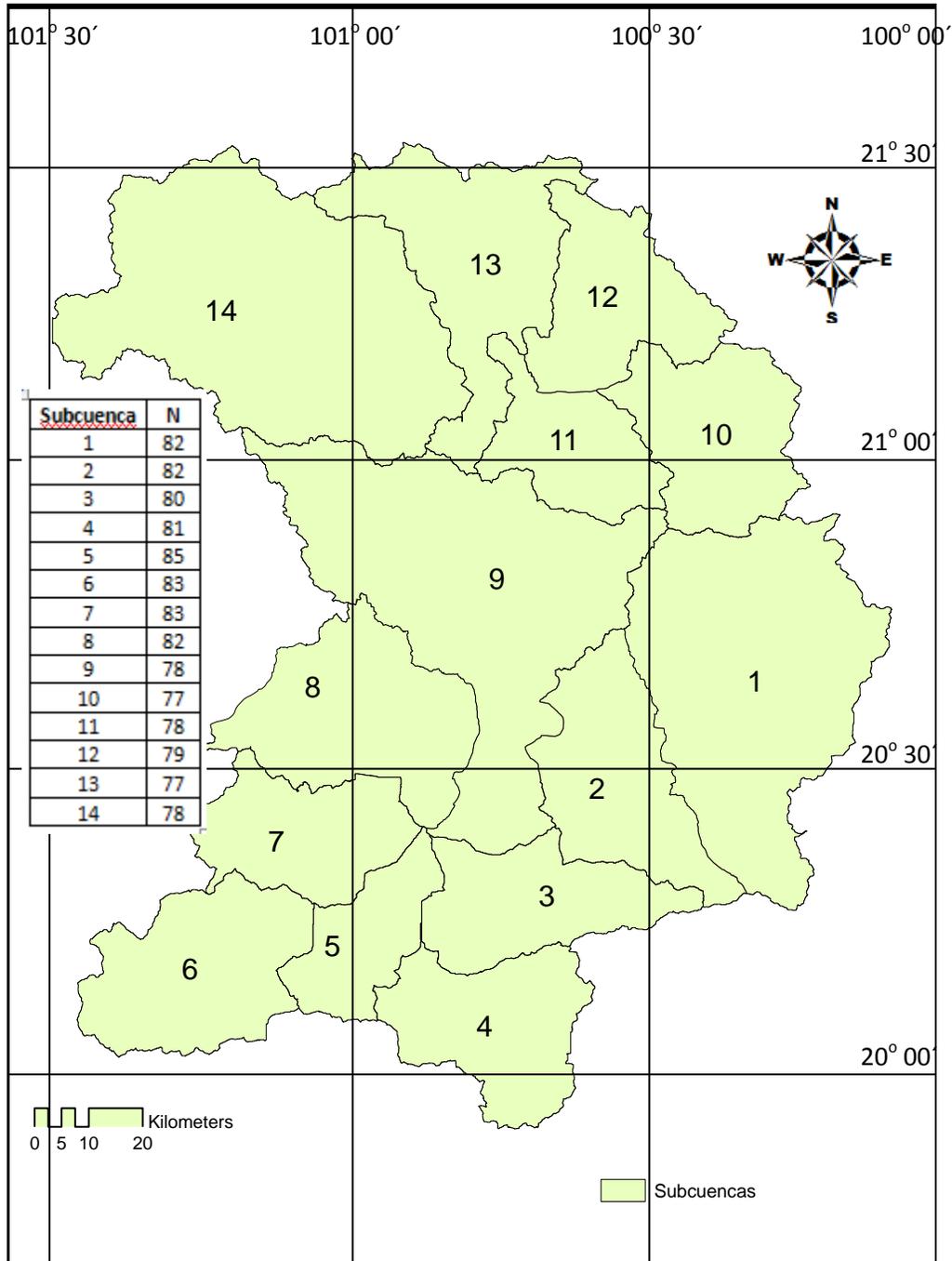


Fig. 5.16 CN calculada para cada una de las subcuencas

El SCS también tiene un método de transformación (*trasnsform method*), el cual también es necesario encontrar algunos valores para ingresarlos a HEC-HMS dicho método se explica a continuación.

Con el HU deducido a partir de los datos, el SCS definió un hidrograma promedio en función del pico (HU_{pico}) contra el tiempo pico t_p .

Los parámetros están definidos como:

$$HU_{pico} = \frac{484 A}{t_p} \qquad t_p = t_r \frac{\Delta t}{2}$$

A = área (millas cuadradas)

Δt = duración del HU, h

t_r = retraso en la cuenca, h

Según Aparicio (1997) el tiempo de retraso se estima como $0.60 t_c$. En México es muy común utilizar la fórmula de Kirpich para estimar el tiempo de concentración, t_c . La fórmula indica que:

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

Donde:

t_c es el tiempo de concentración en horas

L es la longitud del cauce principal en metros

S es la pendiente media del cauce principal

Nuevamente el HEC-HMS hace todo el proceso y solo necesita el dato de t_r el cual fue calculado y se presenta en la siguiente tabla:

Subcuenca	Longitud cauce principal (m)	Elevaciones		Pendiente Cauce principal (%)	tc (Kirpich)	tr (horas)	tr (minutos)
		Punto más alto (m)	Punto más bajo (m)				
1	49110	2080	1797	0.0058	9.67	5.80	348.241
2	24530	1797	1770	0.0011	10.72	6.43	385.96
3	51940	2409	1748	0.013	7.44	4.47	268.00
4	41900	1910	1748	0.0039	9.98	5.99	359.34
5	20820	1748	1727	0.0010	9.77	5.86	351.80
6	31140	1840	1728	0.0036	8.17	4.90	294.00
7	39860	1727	1720	0.00018	31.58	18.95	1137.03
8	49510	1750	1709	0.00083	20.54	12.33	739.54
9	65250	1900	1757	0.0022	17.47	10.48	628.85
10	40460	2660	1995	0.016	5.57	3.34	200.37
11	20430	1997	1874	0.0060	4.84	2.90	174.28
12	32870	2330	1994	0.010	5.69	3.42	205.012451
13	62860	2043	1857	0.0030	15.12	9.07	544.348616
14	94707	2477	1900	0.0067	14.86	8.92	535.116752

Cuadro 5.2 Tiempos de retraso calculados

Nota: En el cuadro anterior se puede observar que algunas subcuencas como es el caso de la subcuenca 7 tiene un mayor tiempo de retardo a pesar de tener un área menor comparada con subcuencas como la 14. Esto se debe a que la topografía de esta zona es muy plana, lo cual aumenta considerablemente los tiempos de retardo, sin embargo subcuencas más grandes presentan tiempos de retardo menores ya que el cauce principal cruza por zonas muy escarpadas. Esto se puede ver mejor en el mapa de curvas de nivel de la sección 4.1.

Como ya se ha mencionado anteriormente, al tratarse de un estudio preliminar, la determinación de la longitud del cauce principal se estimó de manera sencilla, se midió con la herramienta “*Measure*” de Arc Gis 9.3. A modo de ejemplo se observa en la figura 5.17 la forma de obtener la longitud del cauce principal de la subcuenca 14:

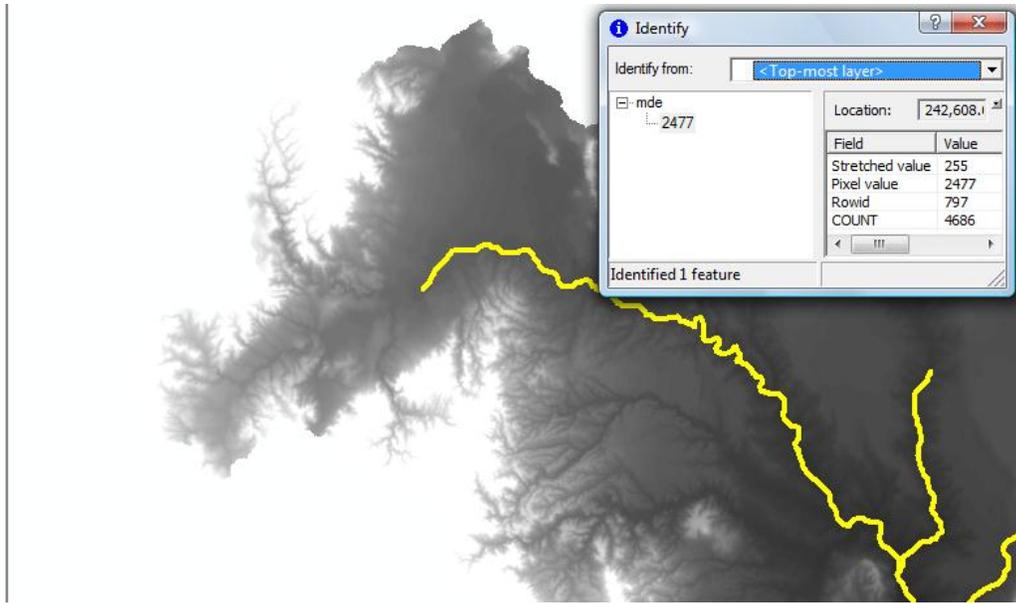


Fig. 5.17 Método usado para medir la longitud del cauce principal

De igual manera la pendiente fue estimada de manera muy simple: Usando el MDE se obtuvieron las alturas en metros sobre el nivel del mar (msnm) en el inicio del cauce principal y al final del mismo, a la diferencia de estas alturas entre la longitud del cauce principal se le consideró la pendiente del cauce principal.

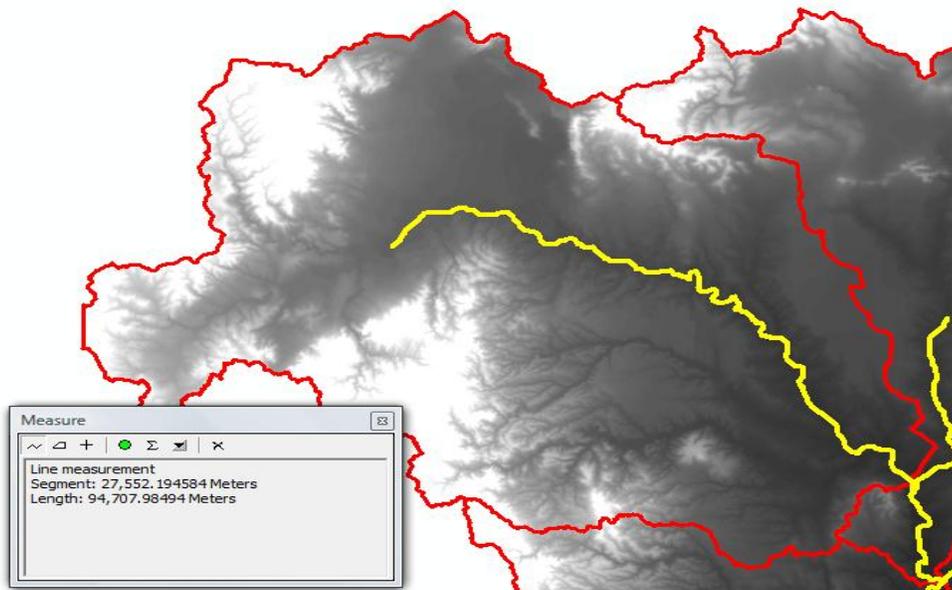


Fig. 5.18 Los puntos altos se determinaron del MDE

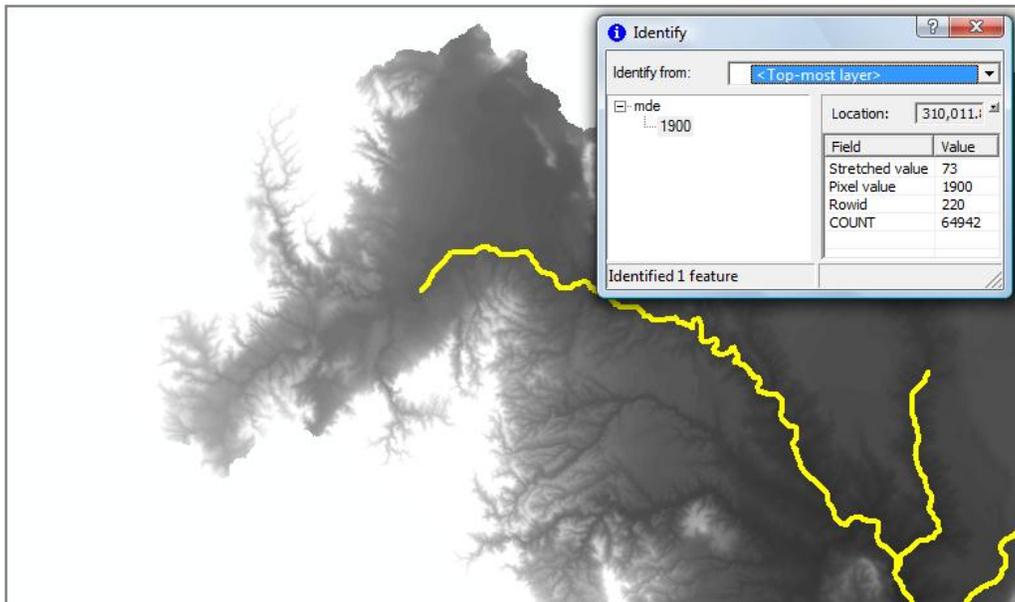


Fig. 5.19 Los puntos bajos se determinaron del MDE

Se realizó el mismo procedimiento para todas las subcuencas. Como se trata del dato más inexacto, será de los primeros en ajustarse en la calibración del modelo.

Una vez calculados todos los parámetros fueron introducidos al HEC-HMS.

El área ya calculada en la sección 5.1 es introducida en la sección principal, aquí también se indica el tipo de método usado para las pérdidas (Loss) y transformación (Transform) y son precisamente los del SCS.

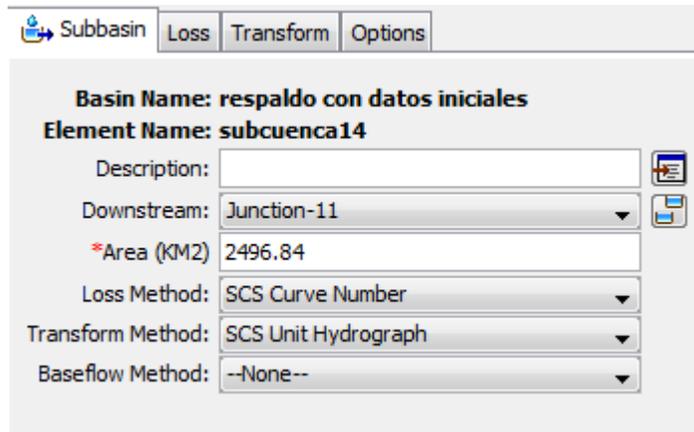


Fig. 5.20 Asignación del área y los métodos a HEC-HMS

En la pestaña *loss* únicamente indicamos el N calculado:

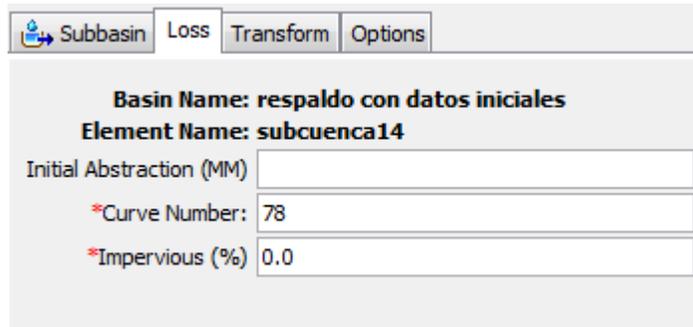


Fig. 5.21 Se introdujo el CN al HEC-HMS

Y en *transform* indicamos el t_r en minutos:

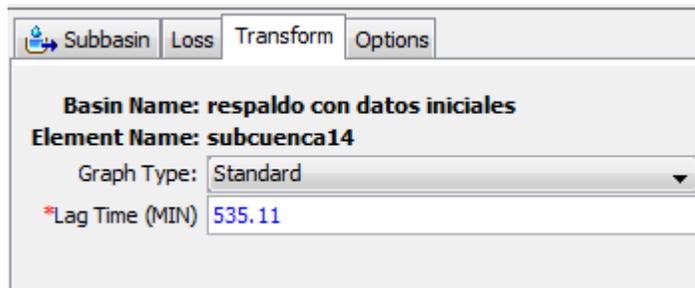


Fig. 5.22 Se introdujo el tiempo de retardo al HEC-HMS

b) Tramos de Río

Los tramos de río se colocan en HEC-HMS entre una y otra confluencia (*junction*), precisamente para conectar las subcuencas, el software pide un método de ruta (*routing method*), en este caso se usó el método del tránsito de Muskingum para el cual es necesario calcular dos parámetros: K y x , Aparicio (1997).

El parámetro K (tiempo del viaje del pico a lo largo del tramo del río) se obtuvo por la fórmula sencilla de la velocidad = distancia / tiempo, despejando el tiempo tenemos que es igual a distancia / velocidad. La distancia es precisamente la longitud del tramo de río calculada de la misma forma que la longitud del cauce principal de la subcuencas; es decir, con la herramienta “*measure*” del Arc Gis y la velocidad, según Aparicio (1997) se considera de 1.5 m/s, la tabla siguiente indica el valor de K para cada tramo de río del modelo:

Tramo de río*	Longitud	K (Segundos)L/vel	K (horas)
1	9773	6515.33	1.81
2	20430	13620.00	3.78
3	14445	9630.00	2.68
4	38015	25343.33	7.04
5	63017	42011.33	11.67
6	36411	24274.00	6.74
7	47744	31829.33	8.84
8	7771	5180.67	1.44
9	20820	13880.00	3.86
10	39860	26573.33	7.38
11	3767	2511.33	0.70

Cuadro 5.3 Parámetro K, numeración de acuerdo al modelo*

El parámetro x varía entre 0 y 0.5. Si $x=0.5$ no hay abatimiento del gasto pico del hidrograma, es decir, el gasto pico a la entrada del tramo del cauce es el mismo que a la salida. Cuando no se tiene manera de obtener el parámetro x (por ejemplo calibración) se recomienda tomar un valor de entre 0.20 a 0.25, (Aparicio, 1997), para este caso se utilizó el valor de 0.25, de esta manera se introdujeron estos valores al HEC-HMS, indicando aquí el método usado:

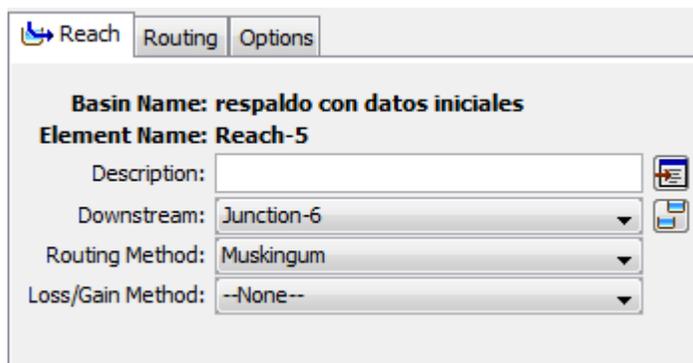
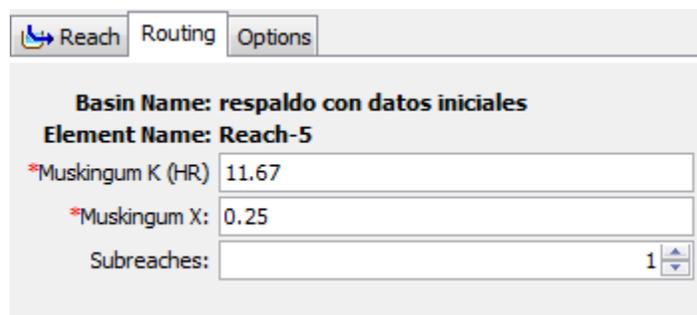


Fig. 5.23 En esta sección se determinó el método

En la pestaña de *Routing* introducimos los valores calculados:



Basin Name: respaldo con datos iniciales	
Element Name: Reach-5	
*Muskingum K (HR)	11.67
*Muskingum X:	0.25
Subreaches:	1

Fig. 5.24 En esta sección se introdujeron los parámetros K y x a HEC-HMS

Esto se realizó para los 11 tramos de río del modelo.

c) Vasos (presa Solís)

Como se mencionó anteriormente en HEC-HMS, es posible introducir un cuerpo de agua (presa) y ya que el estudio está basado en lo que sucede aguas abajo de la presa Solís, es necesario determinar sus características para introducirlas en el programa, con base en la información que se recopiló en la sección 4.4.

Como se aprecia en la figura 5.25.

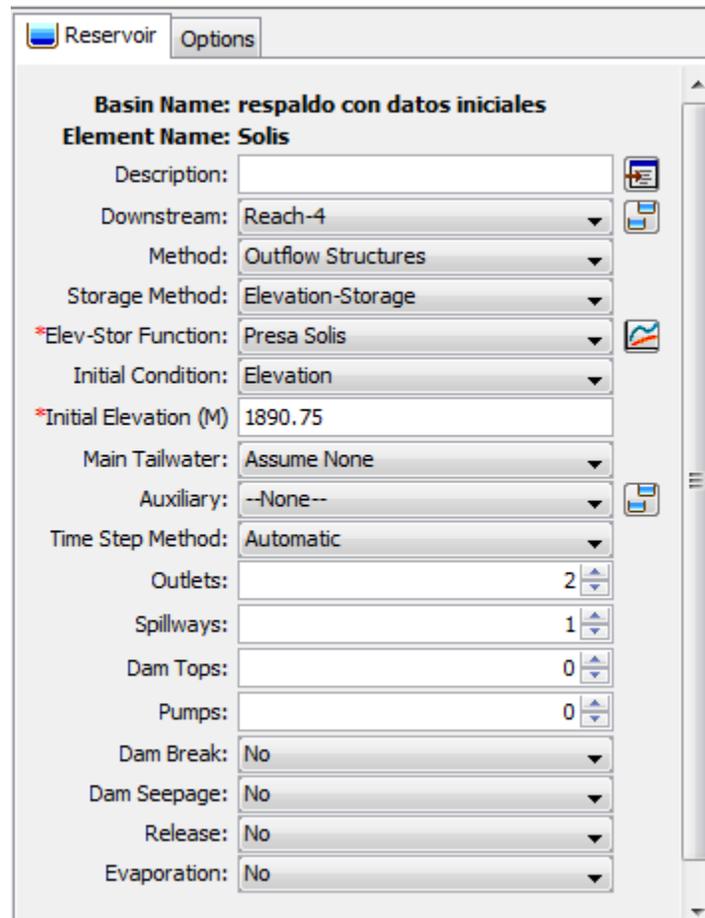


Fig. 5.25 Pestaña principal del vaso en HEC-HMS

El programa pide un método para determinar las salidas de la presa, en este caso se usó el “*outflow method*” que a su vez pide un método de almacenamiento y se usó el de la curva de almacenamientos contra elevaciones (*elevation-storage*) y se construyó la curva con los datos que se vieron en la sección 4.4, al tener únicamente tres puntos, elevación al nivel de azolves, al NAMO y al NAME, se ajustó una función, de este modo determinó la grafica con más puntos para poder introducirla a HEC-HMS, esta grafica se crea en una sección llamada “*paired data*” y después es asignada a la casilla de *Elev-Stor Function* como se observa en la figura 5.26.

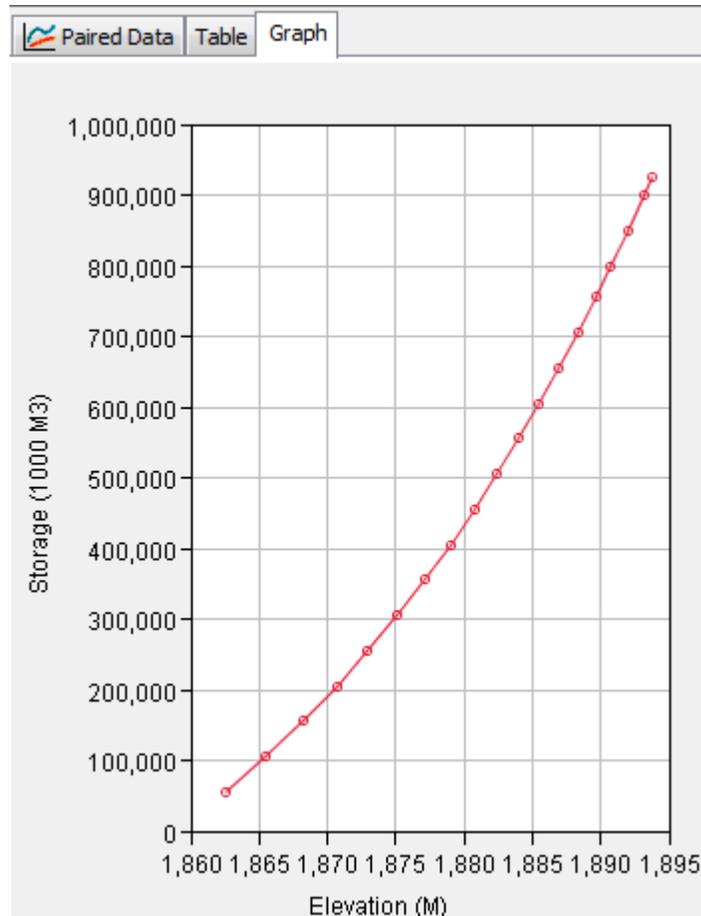


Fig. 5.26 Grafica de capacidades-elevaciones de la presa Solís captura de HEC-HMS

Así mismo se indicó el número de vertedores (*spillways*), y el número de obras de toma (*outlets*) que tiene la presa y se introdujeron sus características en otra sección.

Para el caso de los vertedores se necesita la elevación y la longitud de la cresta vertedora, datos recopilados en la sección 4.4 y el coeficiente de descarga calculado según Sotelo (2005) con la fórmula:

$$Q = cbH^{3/2}$$

Donde Q= gasto máximo derramado (de diseño) = 1380 m³/s

b= Longitud de la cresta vertedora= 135 m

H= carga sobre el vertedor = 2.95 m (sección 4.4)

De donde se calculó un coeficiente de descarga $c= 2.01$

Y finalmente los datos fueron integrados al HEC-HMS como se indica:

The screenshot shows the 'Spillway 1' configuration window in HEC-HMS. The 'Basin Name' is 'respaldo con datos iniciales' and the 'Element Name' is 'Solis'. The 'Method' is set to 'Broad-Crested Spillway', 'Direction' is 'Main', '*Elevation (M)' is 1890.75, '*Length (M)' is 135, '*Coefficient' is 2.01, and 'Gates' is 0.

Fig. 5.27 Datos del vertedor introducidos al HEC-HMS

Se realizó algo similar con la obra de toma, como se vió en la sección 4.4 consta de dos túneles circulares de idénticas características.

The screenshot shows the 'Outlet 1' configuration window in HEC-HMS. The 'Basin Name' is 'respaldo con datos iniciales' and the 'Element Name' is 'Solis'. The 'Method' is set to 'Orifice Outlet', 'Direction' is 'Main', 'Number Barrels' is 1, '*Center Elevation (M)' is 1862.5, '*Area (M2)' is 28.27, and '*Coefficient' is 0.064.

Fig. 5.28 Datos del túnel 1 de la obra de toma introducidos al HEC-HMS

El área se calculó con la ecuación de la circunferencia y el coeficiente de descarga según Sotelo (2005) con la ecuación:

$$Q=C_d A\sqrt{2gH}$$

Donde $Q=$ gasto máximo de diseño = $45 \text{ m}^3/\text{s}$ ($90 \text{ m}^3/\text{s} / 2$)

$$A = \text{área} = 28.27 \text{ m}^2$$

$$g = \text{gravedad} = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$H = \text{carga desde el eje del túnel hasta el NAME}$$

De esta forma se obtuvo un coeficiente de 0.064, esto fue para los dos túneles.

d) Entrada y Salida

La entrada sirve para indicar la cantidad de agua que entra a la presa Solís producto del escurrimiento aguas arriba de la misma y se indica por un hidrograma, el cual es creado en una sección llamada “*time series data*” del HEC-HMS y luego es asignada a la casilla “*discharge Gage*” como se observa a continuación:

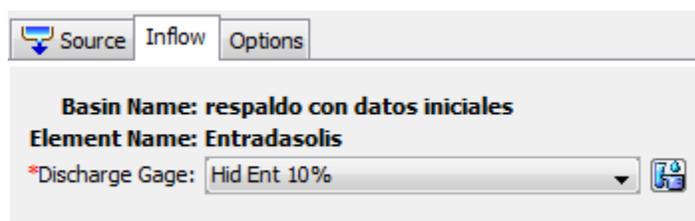


Fig. 5.29 Asignación de un hidrograma de entrada a la presa Solís en el HEC-HMS

Con base en lo anteriormente expuesto se definieron cuatro escenarios de ingreso a la presa Solís: 1) La avenida de diseño de la presa, es decir $2200 \text{ m}^3/\text{s}$ (Periodo de retorno de 10,000 años), 2) un equivalente a un 50% de dicha avenida, 3) considerando sólo el 25% de dicha avenida y 4) solo un 10% del evento de diseño. Así mismo, en esta etapa se consideraron hidrogramas de ingreso triangulares con una duración de 24 horas, donde el tiempo pico ocurría a una tercera parte del tiempo base, es decir a las 8 hrs.

En la salida del sistema se observarán los resultados de cada escenario, es decir cuanta agua llega hasta este punto de acuerdo a las condiciones que se le indique al modelo.

5.4.2. Modelo meteorológico

Para esta parte primeramente se necesitó saber cuánta influencia tiene cada estación climatológica en las subcuencas, y esto se logró gracias al método de los polígonos de Thiessen. Este método consiste básicamente en unir con líneas rectas las estaciones climatológicas más cercanas entre sí, formando triángulos. Posteriormente se trazan mediatrices a cada uno de los lados de los triángulos, con lo cual se formarán polígonos con las líneas de las mediatrices y el parteaguas de cada una de las subcuencas, con la ayuda de Arc Gis esto se realizó de forma rápida con la herramienta “*Create Thiessen Polygons*”

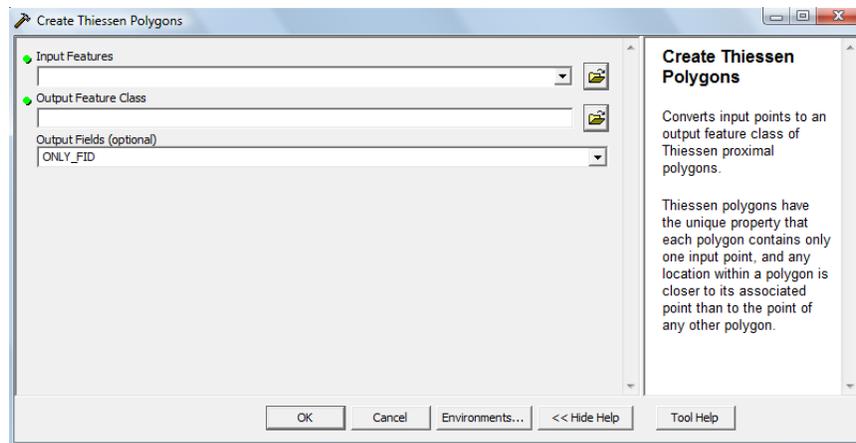


Fig. 5.30 Creador de polígonos de Thiessen en Arc Gis

La cual usa el *shape* de las estaciones para determinar dichos polígonos

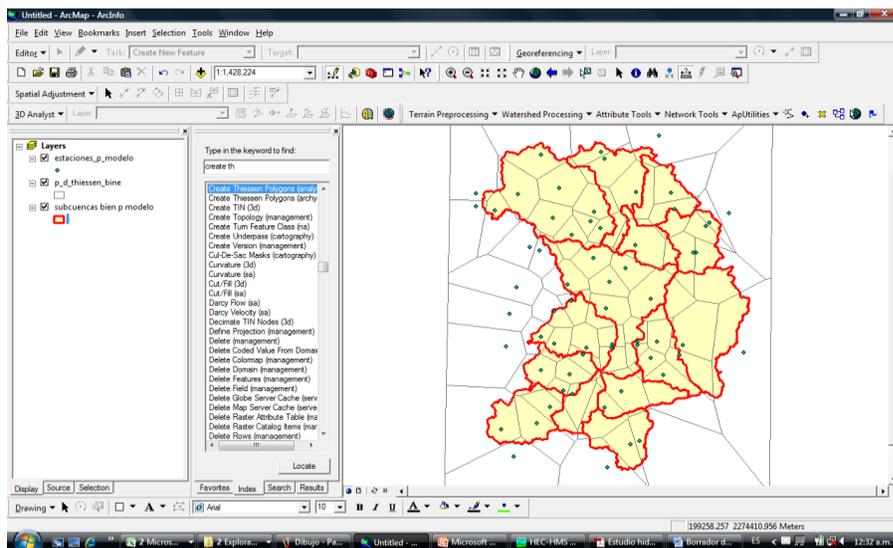
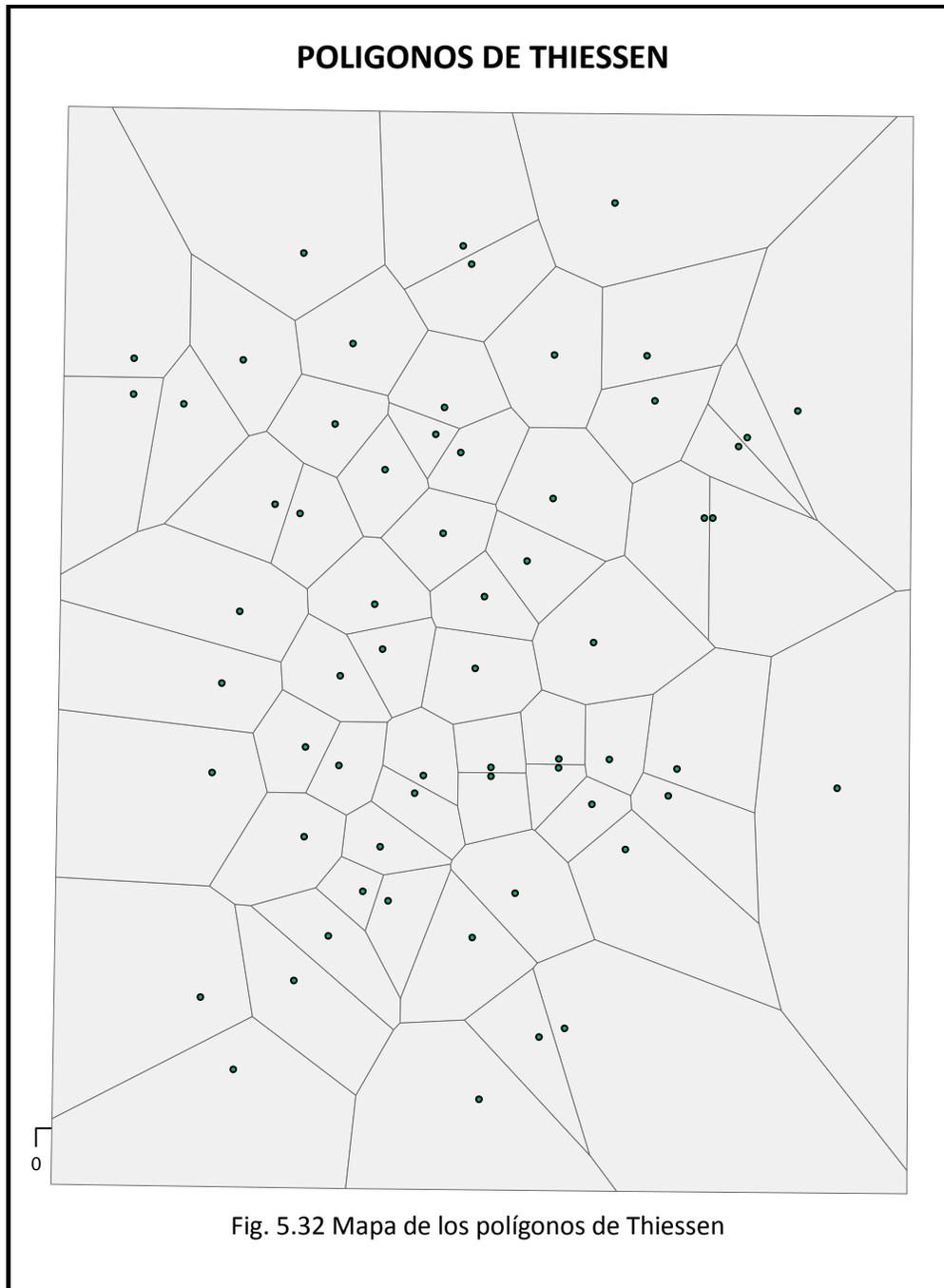


Fig. 5.31 Polígonos de Thiessen creados en Arc Gis



La influencia de cada estación depende del área de la subcuenca que se traslapa con el polígono de Thiessen, para lo cual se determinó un porcentaje de influencia de cada estación en cada subcuenca, al final la suma de los porcentajes de influencia de las estaciones debe dar 100% en todas las subcuencas, esto se puede apreciar en la tabla siguiente:

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

Estación	Subcuencas													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
11002				0.358										
11004														
11005		0.056							0.053					
11006		0.157	0.019						0.011					
11007									0.026					0.007
11008														0.129
11009								0.099	0.022					
11010						0.340								
11011									0.115				0.005	0.009
11013					0.023		0.161	0.051	0.000					
11015										0.207				
11017														0.042
11021					0.451		0.046							
11022		0.273	0.297											
11026													0.123	0.0003
11028														
11033									0.105					
11041								0.099						
11042									0.008		0.744	0.036	0.042	
11043											0.055	0.259	0.316	
11044								0.145	0.013					
11045														0.004
11047					0.003	0.339								
11048								0.103	0.113					
11049														0.051
11051													0.098	0.054
11052							0.063	0.159						
11053										0.186	0.034	0.279		
11054														
11056							0.002	0.199						
11057													0.065	0.102
11060			0.181	0.274	0.226									
11061									0.045					0.065
11063														0.008
11064													0.287	0.022
11065													0.004	0.138
11066	0.046								0.014	0.274	0.146			
11067														0.185
11068												0.374		
11070					0.012		0.272							
11071					0.226	0.214								
11072					0.015	0.039	0.098							
11076				0.243										
11078			0.502	0.026	0.046				0.022					
11079						0.048	0.335							
11080										0.090		0.007		
11082														
11084								0.062	0.052					

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11085									0.084					
11088	0.178									0.242				
11094														0.005
11096							0.022	0.082						
11105	0.003	0.242												
11107													0.013	0.181
11118									0.114		0.013		0.002	
11122	0.112	0.076							0.174		0.008			
16027							0.019							
16052				0.099										
22004	0.127	0.125												
22006	0.296	0.026												
22011	0.238													
22024		0.045							0.026					
24093												0.045	0.046	
Sumas	1													

Cuadro 5.4 Pesos de las estaciones en cada una de las subcuencas

De regreso en HEC-HMS, se crea un modelo meteorológico (*meteorologic model*). Para este caso se crearon modelos meteorológicos para cada uno de los periodos de retorno analizados en la sección 5.2; es decir, para 2, 5, 10, 50, 100, 200 y 1000 años.

Una vez creado el modelo meteorológico, en la sección *precipitation gages*, se introducen los valores de lluvia para cada periodo de retorno en cada estación. Esto se aprecia en la figura siguiente para el periodo de retorno de 2 años y los datos de lluvia que se extrajeron del análisis de frecuencias (sección 5.2).

Total Storm Gages	
Met Name: Tr=2	
Gage Name	Total Depth (MM)
11002	44.616
11004	44.646
11005	49.812
11006	47.015
11007	52.413
11008	54.400
11009	48.386
11010	40.708
11011	52.712
11013	47.424
11015	36.870
11017	42.471
11021	45.068
11022	52.006
11026	39.769
11028	51.853
11033	43.290

Fig. 5.33 Captura del HEC-HMS, lluvia estimada para T=2 años introducida al programa (la captura no abarca todas las estaciones)

Posteriormente se determina en cada subcuenca si cada estación influye o no, esto se realiza para todas las estaciones.

Element Name: Subcuenca1	
Gage Name	Use Gage
11096	No
11105	Yes
11107	No
11118	No
11122	Yes
16027	No
16052	No
22004	Yes
22006	Yes
22011	Yes
22024	No
24093	No
Distribucion	Yes

Fig. 5.34 Captura de HEC-HMS de la influencia de las estaciones en cada subcuenca

Nótese que al final se da de alta una distribución y en este caso la distribución será desde 0 hasta 1, ya que de este modo se tomaron en cuenta los pesos de las estaciones en las subcuencas.

Después en la pestaña *Gage Weights*, ya se encuentran dadas de alta las estaciones que tienen influencia en esa subcuenca, y se introducen los valores calculados de los polígonos de Thiessen, así como los rangos de la distribución:

Gage Selections		Gage Weights	
Element Name: Subcuenca1			
Gage Name	Depth Weight	Time Weight	
11066	0.046		
11088	0.178		
11105	0.003		
11122	0.112		
22004	0.127		
22006	0.296		
22011	0.238		
Distribucion	0	1	

Fig. 5.35 Captura de HEC-HMS de la asignación del peso de cada estación a la subcuenca

Esto se hace en todas las subcuencas y en cada modelo meteorológico para cada periodo de retorno, al final ya tenemos armados los diferentes modelos para empezar a simular eventos.

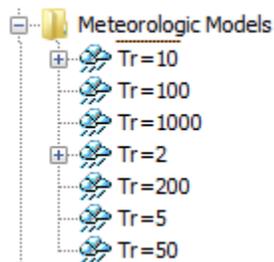


Fig. 5.36 Modelos meteorológicos creados en HEC-HMS

Por otro lado, la precipitación se ha distribuido temporalmente de acuerdo con el método de la tormenta balanceada, el cual considera que el centroide de la lluvia se encuentra en el punto medio de la duración total de la misma, como indica la figura 5.37.

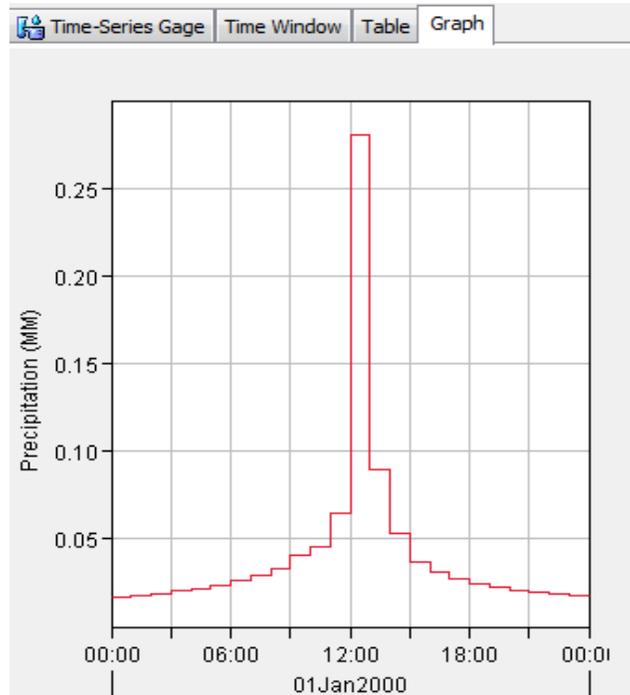


Fig. 5.37 Distribución temporal de la lluvia con el método de la tormenta balanceada grafica en HEC-HMS

En HEC-HMS se carga como *Time-Series Gage* y la gráfica en este caso muestra que la mayor cantidad de lluvia cae a las 12 horas, después vuelve a bajar su intensidad hasta que la lluvia ha caído por completo.

5.4.3. Especificaciones de control

Las especificaciones de control indican la duración del evento, la cual debe coincidir con las fechas de la información de lluvia para que el programa pueda reconocer dicha distribución y usarla para la simulación de lluvia. Además, es aquí donde se asigna el intervalo de tiempo para el cálculo.

La imagen muestra la interfaz de usuario de HEC-HMS para configurar las especificaciones de control. El título de la ventana es "Control Specifications". El nombre del control es "Control 1". El campo "Description" está vacío. El "*Start Date (ddMMYYYY)" está configurado como "01ene2000", el "*Start Time (HH:mm)" como "00:00", el "*End Date (ddMMYYYY)" como "02ene2000" y el "*End Time (HH:mm)" como "00:00". El "Time Interval" está configurado como "30 Minutes".

Fig. 5.38 Especificaciones de control

5.4.4. Calibración del modelo

Una vez que el modelo está completo y no se presentan errores durante las “corridas”, es momento de calibrarlo, para esto usaremos un evento real y lo simularemos en el modelo con el fin de obtener los mismos resultados.

Se consideró un evento registrado en la estación hidrométrica 12007 de Salamanca correspondiente al día 19 de septiembre de 1998:

Día	Hora	Gasto (m3/s)	Día	Hora	Gasto (m3/s)	Día	Hora	Gasto (m3/s)
18	0	67.066	19	0	142.441	20	0	167.769
18	2	71.852	19	2	144.377	20	2	156.732
18	3	73.872	19	3	144.377	20	3	152.509
18	4	76.319	19	4	145.38	20	4	147.387
18	5	78.379	19	5	145.38	20	5	143.409
18	6	80.876	19	6	146.384	20	6	138.604
18	8	80.876	19	9	146.384	20	8	138.604
18	9	82.98	19	10	145.38	20	20	95.707
18	11	88.125	19	11	145.38	20	22	89.429
18	12	90.309	19	12	144.377	20	23	86.825
18	13	96.169	19	13	147.387			
18	15	112.936	19	15	155.659			
18	16	122.816	19	16	158.878			
18	20	140.504	19	17	165.487			
18	21	141.472	19	19	181.889			
18	22	141.472	19	20	189.293			
18	23	142.441	19	21	183.096			
			19	22	178.268			
			19	23	172.365			

Cuadro 5.5 Evento real de Septiembre de 1998 extraído de BANDAS

Los datos faltantes se calcularon por interpolación y el hidrograma fue introducido a HEC-HMS:

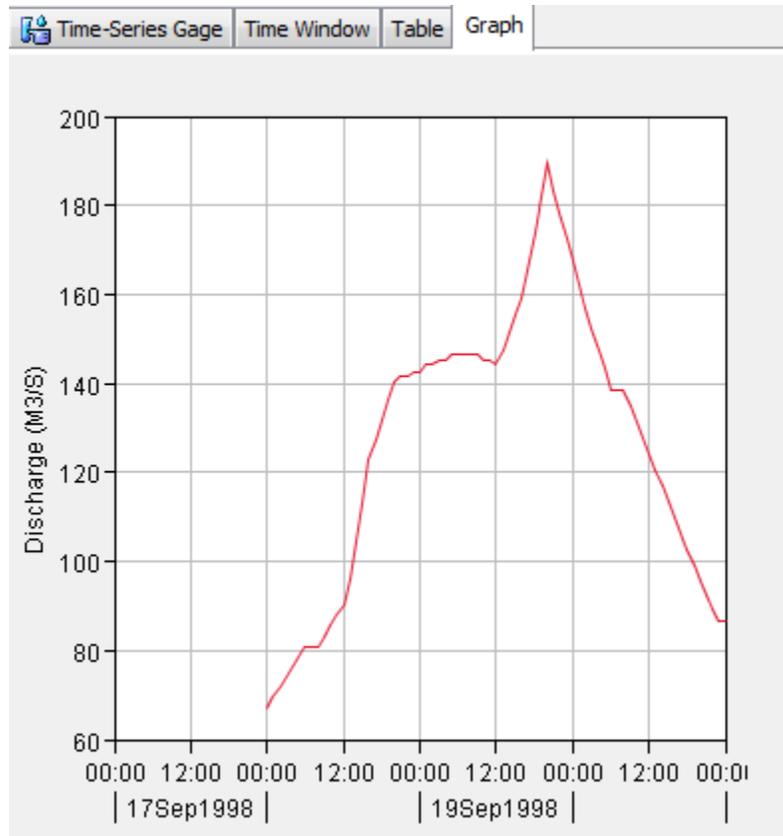


Fig. 5.39 Hidrograma observado introducido a HEC-HMS

Al mismo tiempo, se extrajeron los datos de lluvia para los días 17-20 de septiembre de 1998 a través de ERIC III en cada una de las estaciones. Se encontraron varias estaciones sin datos, pero éstos fueron calculados con el método del inverso de la distancia al cuadrado, en el cual se toman un mínimo de cuatro estaciones cercanas a la estación con dato faltante, las estaciones cercanas obviamente deben tener el dato de lluvia para ese día, luego se determina su distancia en línea recta a la estación con dato faltante y se determina el factor de peso:

$$F=1/d^2$$

La suma de los factores de peso de las estaciones deben sumar 1, si no suman 1 se multiplican por el inverso de su sumatoria inicial y de este modo nos aseguramos de que sumen 1.

Así, la lluvia de la estación con dato faltante se determina con la siguiente ecuación:

$$H_{p_f} = \sum F_i h_{p_i}$$

Donde h_{p_f} = Dato de lluvia faltante en la estación

F_i = Factor de peso de la estación i

h_{p_i} = Lluvia en la estación i (mm)

De esta manera, tenemos que la lluvia para este evento fue la siguiente, (* representa las estaciones con lluvia calculada):

Estación	Nombre	Precipitación evento de sep. del 98 (mm)				total
		17	18	19	20	
11002	Acámbaro, Acámbaro	36.88	56.44	13.65	9.62	116.59*
11004	Aldama, Irapuato	4	0	0	0	4
11005	Apaseo, Apaseo el Grande	42.6	0.3	3.4	6	52.3
11006	Apaseo el Alto	37	0	12	18.5	67.5
11007	Calderones, Guanajuato	5.5	10	0	0	15.5
11008	Cañada Gonzales	26	1	2	0	29
11009	Celaya, Celaya (SMN)	11.5	3.8	0	0	15.3
11010	Cerano, Yuriria	0	15.1	0	0	15.1
11011	Cinco Señores	5.6	2.7	0.3	3.1	11.7
11013	Cortázar, Cortázar	67.5	17.5	0	1.3	86.3
11015	Charcas San J. Iturbide	1.1	0.51	31.44	10.33	43.38*
11017	Dolores Hgo. C.Cap.Rural	10.73	2.74	0.98	1.18	15.63*
11021	El Sabino, Salvatierra	20	58	3	0	81
11022	El Terrero, Apaseo Alto	23	38.2	3	17.5	81.7
11026	Hacienda San Juan	0.1	0.1	9	3.5	12.7
11028	Irapuato, Irapuato (SMN)	1.4	30.4	4.4	0	36.2
11033	La Begoña, San M. Allende	45.5	19	2.5	0	67
11041	Los Razos, Salamanca	4	10	2	0	16
11042	Los Rodríguez	0	9	0	0	9
11043	Lourdes, S. Luis De La Paz	2.27	0.96	2.06	2.05	7.34*
11044	Mandujano Sta. Cruz J.R	0	0	0	0	0
11045	Media Luna, León	38	45	4	0	87
11047	Moroleón, Moroleón	25.84	13.76	1.71	0	41.31*
11048	Neutla, Comofort	4	0	0	0	4
11049	Nuevo Valle Moreno, León	8.4	1	2.7	0	12.1
11051	Peñuelitas, D. Hidalgo	12.5	1.1	1.2	1.4	16.2
11052	Pericos, Salamanca	22	0	11	0	33
11053	Pozos, San Luis de La Paz	0.5	3	0	0	3.5
11054	Pueblo Nuevo, P. Nuevo	2	0	0	0	2

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11056	Planta Ramos, Millan V.	10	0	1	0	11
11057	Río Lajas, Dolores Hgo.	10.58	3.62	1.64	1.11	16.95*
11060	Salvatierra, Salvatierra	54.4	9.6	0	9.4	73.4
11061	San Antón, Dolores Hgo.	0	10	0	0	10
11063	San Cristóbal, S. L. P.	5.6	0	0.3	0	5.9
11064	San Diego de la Unión	0	0	9	3.5	12.5
11065	San Felipe, S. Felipe DGE	5.18	4.66	6.69	2.46	18.99*
11066	San José Iturbide	2	0	15.5	0	17.5
11067	San J. de los Llanos SMN	16.44	8.59	2.32	0	27.35*
11068	San Luis de la Paz	0	0	0	3	3
11070	Santa Julia, Cortázar	38	64.4	0	0	102.4
11071	Santa María Yuriria(DGE)	20	11.2	2.4	0	33.6
11072	Santa Rita, Jaral Del P.	74.5	1.7	3.3	0	79.5
11076	Solís, Acámbaro	39.1	62.8	15.7	10.2	127.8
11078	Tarimoro, Tarimoro	3.8	43	4.2	14.9	65.9
11079	Valle de Santiago	19.5	14.5	6	1	41
11080	Villa Doctor Mora (SMN)	0.84	0.46	39.93	9.25	50.48*
11082	Victoria, Victoria	0	0	73.5	20	93.5
11084	Celaya, Celaya (DGE)	11.5	3.8	0	0	15.3
11085	Dos Arroyos, S. Miguel. A	7	1.5	0	0	8.5
11088	San José Iturbide (DGE)	2	0	15.5	0	17.5
11094	Guanajuato, Guanajuato	36.4	5	0	5	46.4
11096	Salamanca, Salamanca	11.8	8.1	2.1	0	22
11105	Ameche, Apaseo	35.2	0	0	5.5	40.7
11107	La Quemada, San Felipe	2	9.5	6.5	2.5	20.5
11118	San Miguel Allende	7.3	15	0.5	3.2	26
11122	Presa Jalpa, S.M.Allende	4.2	0	0	16	20.2
16027	Cuitzeo, Cuitzeo	36	32	0	0	68
16052	Huingo, Zinapécuaro	16.5	20	3	2	41.5
22004	El Batán, Corregidora	35.3	3.2	1.6	0	40.1
22006	V. Pueblito A. Corregidora	38.5	1.5	0	0	40
22011	Pedro Escobedo	34.13	8.46	1.04	4.11	47.74*
22024	Tres Lagunas	1	6.5	3.6	3.5	14.6
24093	Tierranueva, Tierranueva	3.2	4.5	6.8	0.2	14.7

Cuadro 5.6 Precipitación para el evento de Septiembre 1998
ERIC III

Se creó en HEC-HMS un nuevo modelo meteorológico con el nombre de “sep98”, en la parte de *Precipitation Gages* se introdujeron los valores de lluvia total de los 4 días de cada estación:

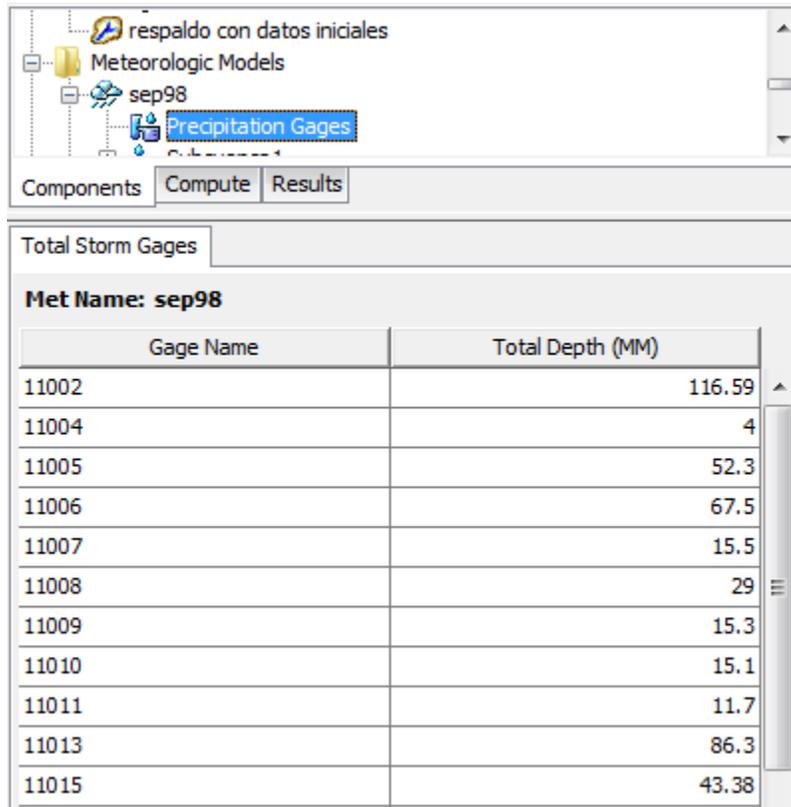


Fig. 5.40 Creación del modelo meteorológico del evento de Septiembre de 1998 en HEC-HMS

Para hacer la distribución temporal de lluvia se determinó el porcentaje de la lluvia total que cayó cada día:

	Lluvia día 17 (mm)	Lluvia día 18 (mm)	Lluvia Día 19 (mm)	Lluvia día 20 (mm)	Total (mm)
	1039.89	693.20	332.46	191.31	2256.86
Porcentaje	46%	31%	15%	8%	100%

Cuadro 5.7 Promedios y porcentajes de lluvia para el evento de Septiembre del 98

Nuevamente con el método de la tormenta balanceada, se distribuyó la lluvia en los días que duró el evento pero considerando los porcentajes que cayeron cada día. Dicha distribución fue asignada a HEC-HMS en forma de la siguiente gráfica.

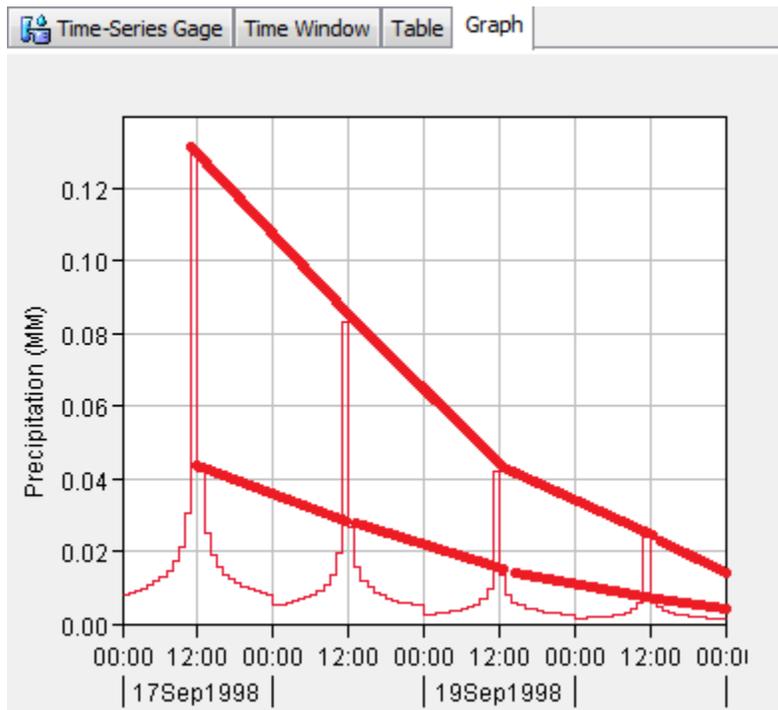


Fig. 5.41 Distribución de la lluvia en los 4 días para el evento de Septiembre de 1998 con el método de la tormenta balanceada

Se crearon también unas especificaciones de control para dicho evento:

The screenshot shows a software window titled 'Control 2'. Below the title bar are tabs for 'Components', 'Compute', and 'Results'. The 'Control Specifications' section is active and contains the following fields:

- Name: Control 2
- Description: (empty text box)
- *Start Date (ddMMMYYYY): 17sep1998
- *Start Time (HH:mm): 00:00
- *End Date (ddMMMYYYY): 21sep1998
- *End Time (HH:mm): 00:00
- Time Interval: 1 Hour (dropdown menu)

Fig. 5.42 Especificaciones de control para el evento de Septiembre de 1998

El hidrograma observado fue asignado a la salida del modelo:

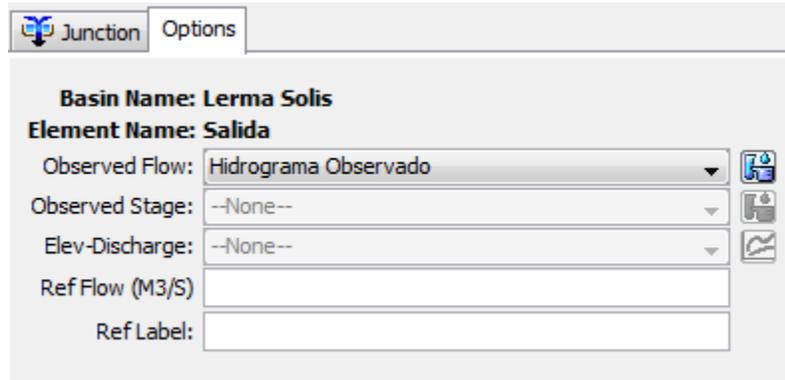


Fig. 5.43 Asignación del hidrograma observado para el evento de 1998

La presa Solís se consideró cerrada (sin aportación) ya que para esas fechas no se tiene registro de excedencias. De esta manera se corrió el modelo y se fueron variando algunos parámetros para obtener un hidrograma aproximadamente igual al observado:

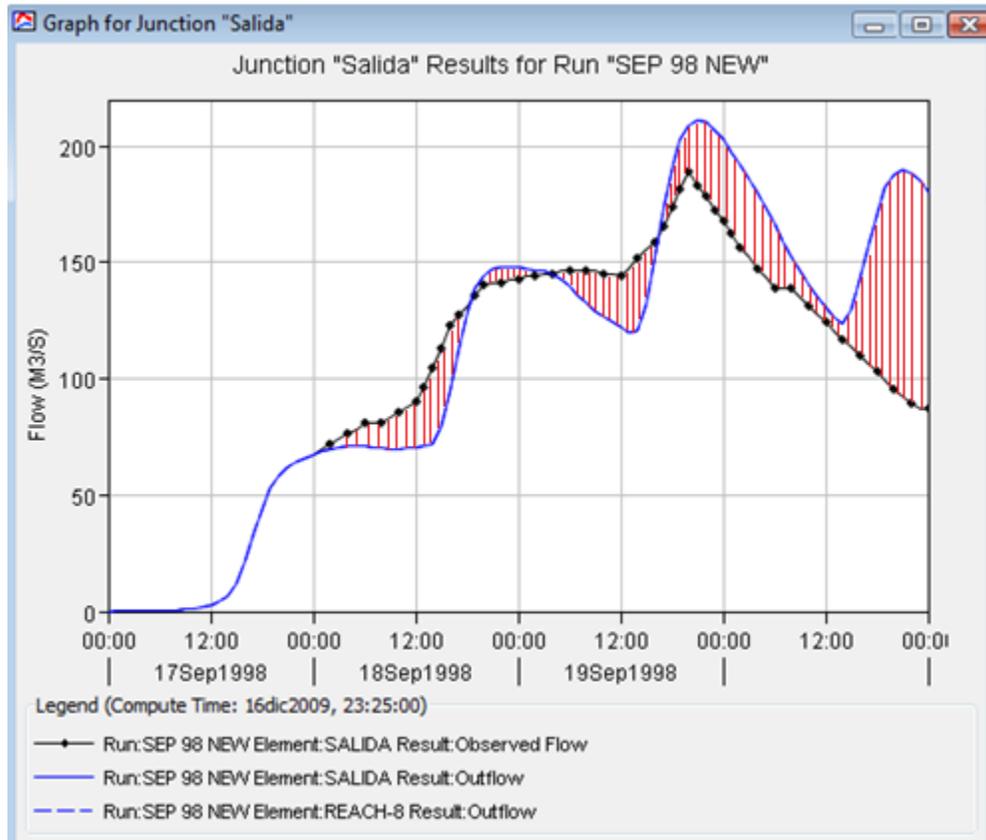
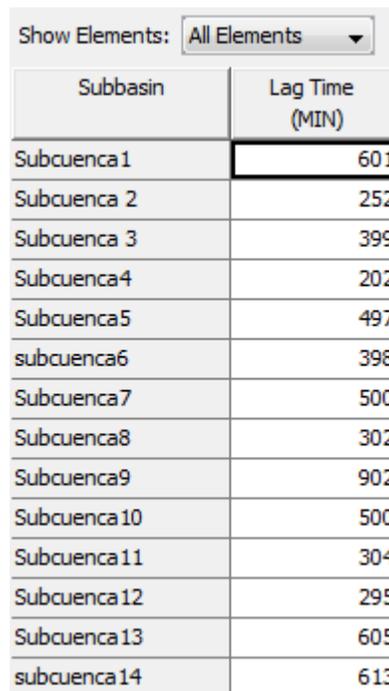


Fig. 5.44 Hidrograma observado (Negro) Vs Hidrograma Simulado (azul)

Como se aprecia en la figura, el hidrograma simulado (azul) es parecido al real (negro), existen variaciones; pero el comportamiento es similar por lo tanto lo podemos considerar válido.

Los parámetros que fueron variados fueron: los tiempos de retardo de los cauces principales, los cuales al parecer fueron sobreestimados así que fueron reducidos y con el fin de mover el pico del hidrograma simulado hasta lograr que coincidiera aproximadamente con el pico del hidrograma real.



Subbasin	Lag Time (MIN)
Subcuenca 1	601
Subcuenca 2	252
Subcuenca 3	399
Subcuenca4	202
Subcuenca5	497
subcuenca6	398
Subcuenca7	500
Subcuenca8	302
Subcuenca9	902
Subcuenca10	500
Subcuenca11	304
Subcuenca12	295
Subcuenca13	605
subcuenca14	613

Fig. 5.45 Captura del HEC.HMS de la variación del parámetro t_r para el evento de Septiembre de 1998

Para reducir la cantidad de agua que llegaba a la salida se consideraron pérdidas en varias subcuencas, sobre todo en aquellas que están cerca del río Lerma ya que el agua de dicho río se usa para muchos fines como por ejemplo la agricultura. Existen también presas y cuerpos de agua en la cuenca como es el caso del lago de Yuriria y otros de menor importancia, pero todo esto representa pérdidas que no llegan hasta la salida.

Subbasin	Initial Abstraction (MM)
Subcuenca 1	30
Subcuenca 2	27
Subcuenca 3	54
Subcuenca 4	54
Subcuenca 5	50
subcuenca 6	53
Subcuenca 7	35
Subcuenca 8	30
Subcuenca 9	30
Subcuenca 10	20
Subcuenca 11	20
Subcuenca 12	20
Subcuenca 13	20
subcuenca 14	20

Fig. 5.46 Captura del HEC-HMS de las pérdidas iniciales consideradas en las subcuencas

Aún así, se consideró que el modelo debería ser calibrado en más eventos para mejorar dicha calibración. De la estación hidrométrica Salamanca II (Clave 12352) se seleccionó un evento ocurrido en Octubre de 1976, en el cual se presentó el hidrograma de la figura 5.47 el cual fue incluido en HEC-HMS.

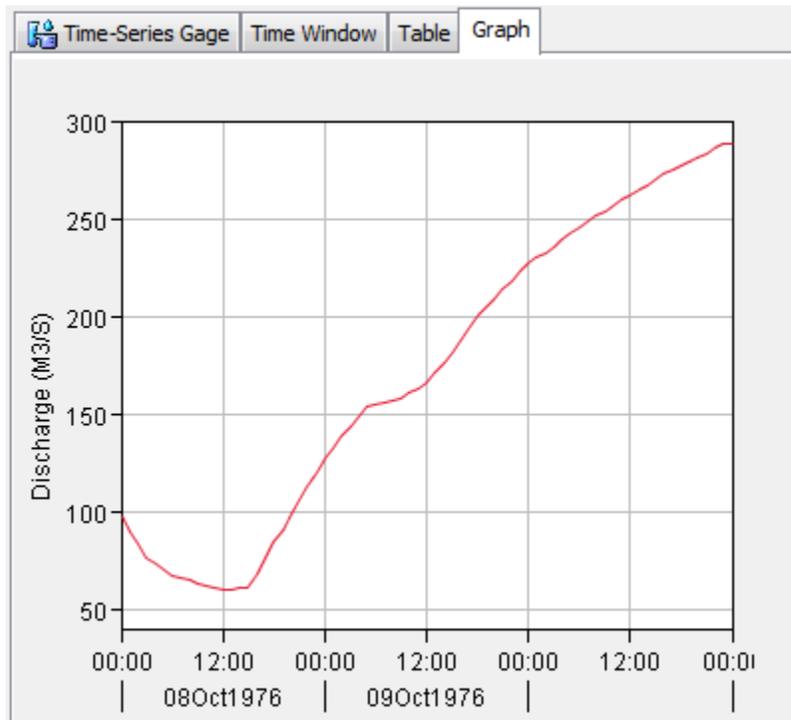


Fig. 5.47 Hidrograma para el evento de Octubre de 1976

El hidrograma mostrado en la figura anterior, corresponde a los siguientes datos:

Día	Hora	Gasto (m3/s)	Día	Hora	Gasto (m3/s)	Día	Hora	Gasto (m3/s)
8	0	97.1	9	0	127.475	10	0	226.98
8	1	89.9	9	1	132.74	10	1	229.806
8	2	83.027	9	2	138.005	10	2	232.631
8	3	76.2	9	3	143.27	10	3	235.743
8	4	73.213	9	4	148.535	10	4	238.897
8	5	70.227	9	5	153.8	10	5	242.051
8	6	67.24	9	6	154.812	10	6	245.206
8	7	65.96	9	7	155.825	10	7	248.36
8	8	64.68	9	8	156.82	10	8	251.133
8	9	63.4	9	9	157.78	10	9	253.907
8	10	62.12	9	10	160.34	10	10	256.68
8	11	60.84	9	11	162.9	10	11	259.33
8	12	59.56	9	12	165.46	10	12	261.964
8	13	59.986	9	13	170.58	10	13	264.598
8	14	60.413	9	14	176	10	14	267.232
8	15	60.84	9	15	181.6	10	15	269.866
8	16	68.52	9	16	187.2	10	16	272.5
8	17	76.2	9	17	193.44	10	17	274.732
8	18	83.88	9	18	200.32	10	18	276.964
8	19	90.912	9	19	204.763	10	19	279.196
8	20	98.225	9	20	209.207	10	20	281.428
8	21	105.537	9	21	213.65	10	21	283.661
8	22	112.85	9	22	218.093	10	22	285.914
8	23	120.162	9	23	222.537	10	23	288.2

Cuadro 5.8 Evento de Octubre de 1976
BANDAS

Del mismo modo, se extrajeron los valores de lluvia para los días que duró el evento, es decir, los días 7, 8, 9 y 10 de Octubre de 1976 esto con ERIC III y se volvieron a calcular los datos faltantes con el método del evento anterior. En el cuadro 5.9 se observa la lluvia registrada en cada una de las estaciones para este evento:

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

Estación	Nombre	Precipitación octubre 76 (mm)				Total 4 días
		7	8	9	10	
11002	Acámbaro, Acámbaro	16.7	19.8	2.5	1	40
11004	Aldama, Irapuato	3	13	0	0	16
11005	Apaseo, Apaseo el Grande	14	28.7	0	0	42.7
11006	Apaseo el Alto	21	26.5	1	0	48.5
11007	Calderones, Guanajuato	5.69	17.44	2.4	0	25.53*
11008	Cañada Gonzales	10	52.5	5	0	67.5
11009	Celaya, Celaya (SMN)	9.3	25.5	1.5	0.3	36.6
11010	Cerano, Yuriria	20	50	0	3.5	73.5
11011	Cinco Señores	10.8	44.3	1.1	0	56.2
11013	Cortázar, Cortázar	15.5	30	0	0	45.5
11015	Charcas San J. Iturbide	3.5	22	0.5	0	26
11017	Dolores Hgo. C.Cap.Rural	9	42.5	3.5	0	55
11021	El Sabino, Salvatierra	16.8	17	0	0	33.8
11022	El Terrero, Apaseo Alto	19.7	15.7	3.6	0	39
11026	Hacienda San Juan	2	29	8	0	39
11028	Irapuato, Irapuato (SMN)	4.4	16.4	1.4	0	22.2
11033	La Begoña, San M. Allende	3	34.7	0	0	37.7
11041	Los Razos, Salamanca	2	18	0	0	20
11042	Los Rodríguez	11.34	38.72	2.52	0	52.58*
11043	Lourdes, S. Luis De La Paz	9	33.5	2.5	0	45
11044	Mandujano Sta. Cruz J.R	0	0	0	0	0
11045	Media Luna, León	3.5	13	12.5	0	29
11047	Moroleón, Moroleón	20.2	32	0	5.5	57.7
11048	Neutla, Comofort	18	44	0.2	0.5	62.7
11049	Nuevo Valle Moreno, León	7.8	56	14.9	0	78.7
11051	Peñuelitas, D. Hidalgo	8.7	46.5	1.8	0	57
11052	Pericos, Salamanca	13	22	0	0	35
11053	Pozos, San Luis de La Paz	5	25.5	1	0	31.5
11054	Pueblo Nuevo, P. Nuevo	5	19	1	0	25
11056	Planta Ramos, Millan V.	13.5	30.5	0	0	44
11057	Río Lajas, Dolores Hgo.	9.55	41.22	4.32	0	55.09*
11060	Salvatierra, Salvatierra	20	20	0	2.5	42.5
11061	San Antón, Dolores Hgo.	17	6	0	0	23
11063	San Cristóbal, S. L. P.	20	40	2	0	62
11064	San Diego de la Unión	2.5	28	8	0	38.5
11065	San Felipe, S. Felipe DGE	0	30	7.7	0	37.7
11066	San José Iturbide	20	8	0	0	28
11067	San J. de los Llanos SMN	7.5	20	26	0	53.5
11068	San Luis de la Paz	7.3	20.3	0	0	27.6
11070	Santa Julia, Cortázar	8	9.7	0	0	17.7
11071	Santa María Yuriria(DGE)	20	26.4	0	2.3	48.7
11072	Santa Rita, Jaral Del P.	15.7	14.5	0	0	30.2
11076	Solís, Acámbaro	18.5	22.2	2.3	1.7	44.7
11078	Tarimoro, Tarimoro	0	7	3	0	10
11079	Valle de Santiago	16	20	0	0	36
11080	Villa Doctor Mora (SMN)	3.5	22	0.5	0	26

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11082	Victoria, Victoria	5	26	0	0	31
11084	Celaya, Celaya (DGE)	9.3	25.5	1.5	0.3	36.6
11085	Dos Arroyos, S. Miguel. A	6.3	36.6	2.2	0	45.1
11088	San José Iturbide (DGE)	20	8	0	0	28
11094	Guanajuato, Guanajuato	4.4	14.6	2.4	0	21.4
11096	Salamanca, Salamanca	7.3	24.2	0.5	0	32
11105	Ameche, Apaseo	14	27	0	0	41
11107	La Quemada, San Felipe	4	46	7	0.3	57.3
11118	San Miguel Allende	13.2	32.7	0.2	0	46.1
11122	Presa Jalpa, S.M.Allende	15.2	30.2	0	0	45.4
16027	Cuitzeo, Cuitzeo	30.2	36.7	2.3	16.5	85.7
16052	Huingo, Zinapécuaro	20.8	22.4	0	1.4	44.6
22004	El Batán, Corregidora	16.8	18.7	1.4	0	36.9
22006	V. Pueblito A. Corregidora	13.2	20.5	0.9	0	34.6
22011	Pedro Escobedo	15.65	20.15	3.2	0	39*
22024	Tres Lagunas	6.5	17.1	0	0	23.6
24093	Tierranueva, Tierranueva	6	24.5	5.6	0	36.1

Cuadro 5.9 Precipitación evento Octubre de 1976
ERIC III

Al igual que el evento anterior, se creó un nuevo modelo meteorológico y a cada estación se le asignó la lluvia total de los cuatro días, y como en el caso anterior se indicó la lluvia en porcentajes, los cuales se muestran en el cuadro 5.10.

	Lluvia día 7 (mm)	Lluvia día 8 (mm)	Lluvia Día 9 (mm)	Lluvia día 10 (mm)	Total (mm)
	694.83	1629.93	147.94	35.8	2508.5
Porcentaje	27.7%	65%	5.9%	1.4%	100%

Cuadro 5.10 Promedios y porcentajes de lluvia para el evento de Octubre de 1976

Se distribuyó la lluvia nuevamente de acuerdo con los porcentajes obtenidos:

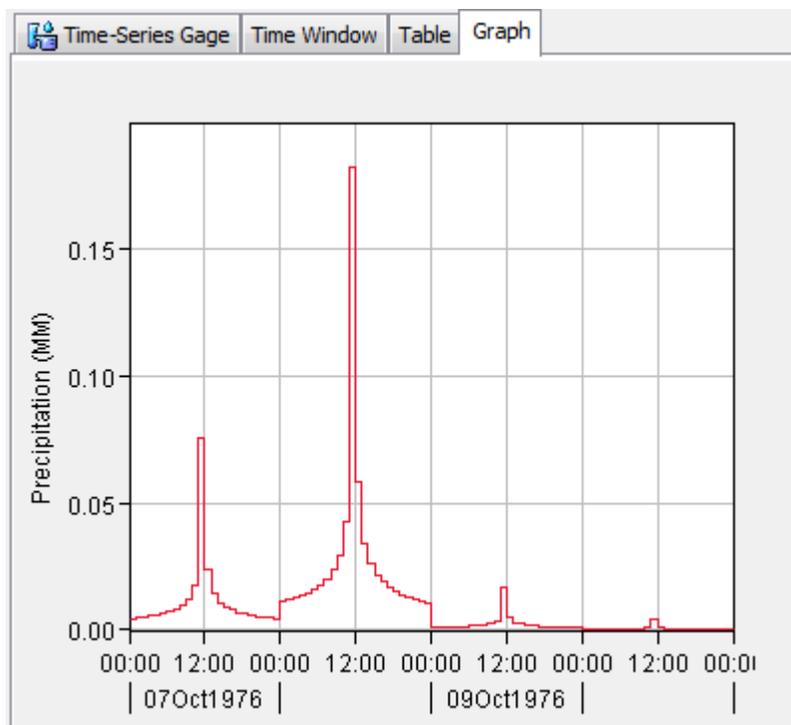


Fig. 5.48 Distribución de la lluvia en los 4 días para el evento de Octubre de 1976 con el método de la tormenta balanceada

Y también se crearon las respectivas especificaciones de control:

The figure shows a 'Control Specifications' dialog box. The title is 'Control Specifications' with a '23' icon. The main title is 'Name: Control 4'. There are several input fields: 'Description:' (empty), '*Start Date (ddMMYYYY)' (07oct1976), '*Start Time (HH:mm)' (00:00), '*End Date (ddMMYYYY)' (11oct1976), '*End Time (HH:mm)' (00:00), and 'Time Interval:' (1 Hour). There is a small icon on the right side of the dialog.

Fig. 5.49 Especificaciones de control para el evento de 1976

Se asignó el hidrograma observado a la salida de la cuenca:

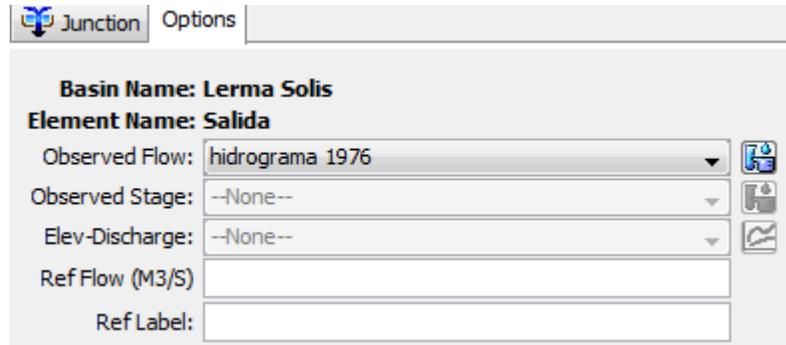


Fig. 5.50 Asignación del hidrograma observado a la salida de la cuenca

Para este evento, también se consideraron las entradas que tuvo la presa Solís en esos días, para eso se usó la información de vasos importantes del país (BANDAS, 1999), se encontraron las siguientes entradas para los días del evento:

Comisión Nacional de Aguas	
Subdirección General Técnica	
Gerencia De Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos	
Nombre Oficial: Presa Solís	Clave: 410SOL
Corrientes Alimentadoras: Río Lerma	Región: Lerma – Santiago
Cuenca Principal: Río Lerma	Estado: Guanajuato
Entradas totales por ríos (gastos), del año 1976 (m3/s)	
Día	Octubre
7	198.634
8	453.31
9	431.705
10	287.635

Cuadro 5.11 Entradas a la presa Solís para el evento de 1976
BANDAS, 1999

Se construyó un hidrograma con estos datos y se introdujo a HEC-HMS

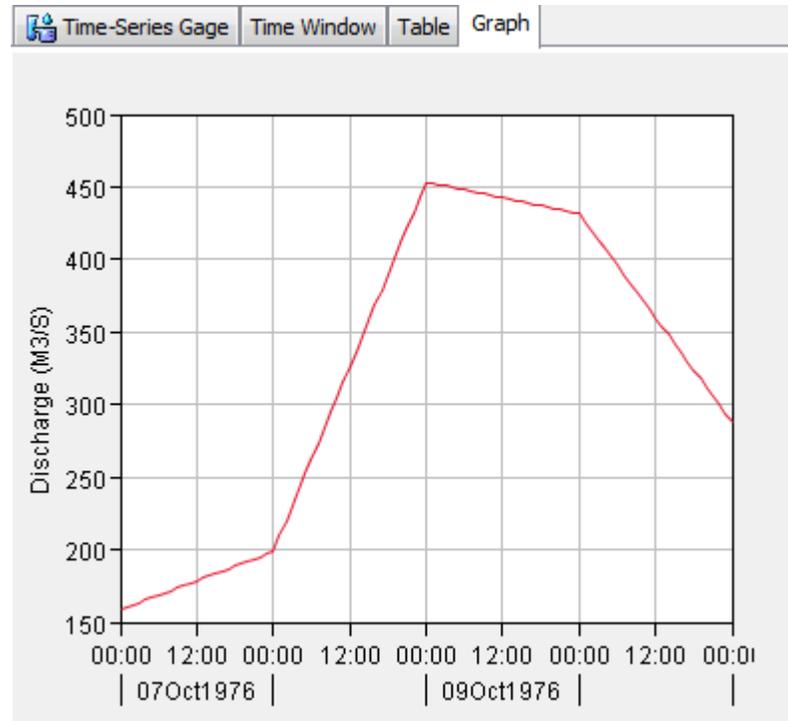


Fig. 5.51 Hidrograma de entrada a la presa Solís evento de 1976

Se creó una entrada, y fue asignado el hidrograma de la figura 5.48:

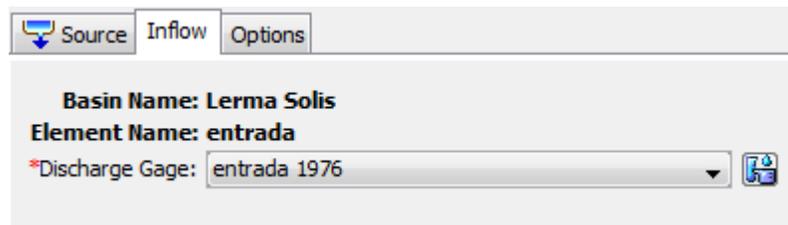


Fig. 5.52 Hidrograma de entrada asignado al modelo

En este caso, se consideró a la presa Solís llena en su totalidad y con la obra de toma cerrada, por lo que solo lo que derramo el vertedor fue el gasto considerado por el modelo. De esta forma se corrió el modelo y se volvieron a ajustar los parámetros hasta tener nuevamente similares a los hidrogramas (real contra simulado).

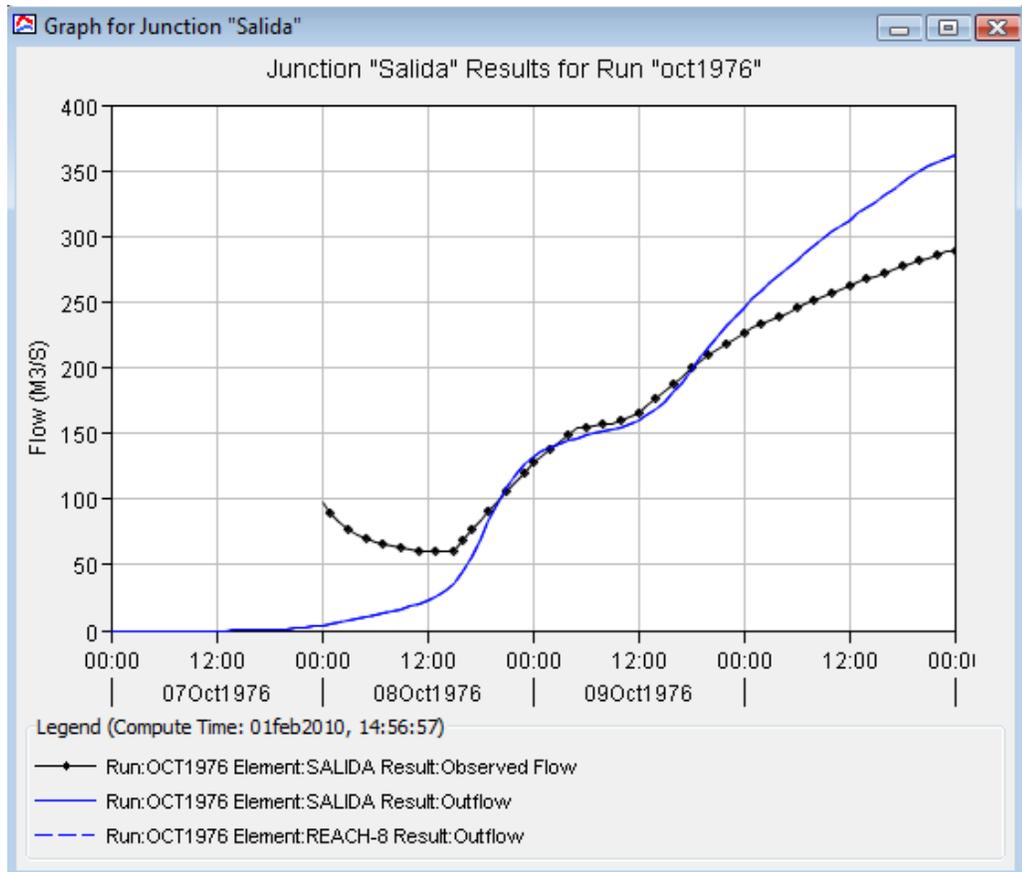


Fig. 5.53 Hidrograma observado (Negro) Vs Hidrograma Simulado (azul) del evento de 1976

Los parámetros ajustados, fueron nuevamente los tiempos de concentración y las pérdidas iniciales quedando como indican las figuras 5.54 y 5.55.

Subbasin	Lag Time (MIN)
Subcuenca 1	358.24
Subcuenca 2	435.96
Subcuenca 3	368.01
Subcuenca4	204.34
Subcuenca5	201.81
subcuenca6	600
Subcuenca7	837.04
Subcuenca8	439.55
Subcuenca9	1028.86
Subcuenca10	794.35
Subcuenca11	474.29
Subcuenca12	405.01
Subcuenca13	885.12
subcuenca14	750

Fig. 5.54 Captura del HEC- HMS del ajuste de los tiempos de retardo para el evento de 1976

Subbasin	Initial Abstraction (MM)
Subcuenca 1	35
Subcuenca 2	35
Subcuenca 3	35
Subcuenca4	35
Subcuenca5	25
subcuenca6	50
Subcuenca7	30
Subcuenca8	15
Subcuenca9	40
Subcuenca10	25
Subcuenca11	30
Subcuenca12	35
Subcuenca13	35
subcuenca14	35

Fig. 5.55 Captura del HEC-HMS del ajuste de las Pérdidas iniciales para el evento de 1976

Al apreciar diferencias considerables en los parámetros en estos dos eventos, se decidió simular un tercer evento para lograr una mejor calibración, el evento ocurrió los días 14, 15 y 16 de septiembre de 1971

Día	Hora	Gasto (m3/s)	Día	Hora	Gasto (m3/s)	Día	Hora	Gasto (m3/s)
14	0	32.1	15	0	98.8	16	0	209.242
14	1	32.1	15	1	102.1	16	1	210.07
14	2	32.1	15	2	105.4	16	2	210.898
14	3	32.1	15	3	108.7	16	3	211.726
14	4	32.1	15	4	112.077	16	4	212.554
14	5	32.1	15	5	115.461	16	5	213.382
14	6	32.1	15	6	118.846	16	6	214.21
14	7	33.075	15	7	124.231	16	7	216.05
14	8	34.048	15	8	129.531	16	8	217.89
14	9	35.01	15	9	134.818	16	9	219.73
14	10	35.972	15	10	140.16	16	10	221.57
14	11	36.934	15	11	149.73	16	11	223.41
14	12	37.896	15	12	159.482	16	12	225.25
14	13	43.002	15	13	168.188	16	13	227.32
14	14	48.22	15	14	176.883	16	14	229.39
14	15	56.04	15	15	185.526	16	15	231.46
14	16	64.18	15	16	185.526	16	16	233.53
14	17	69.75	15	17	196.936	16	17	235.6
14	18	75.5	15	18	199.702	16	18	237.67
14	19	79.167	15	19	202.814	16	19	240.085
14	20	82.907	15	20	205.926	16	20	242.5
14	21	86.72	15	21	206.755	16	21	245.562
14	22	90.533	15	22	207.585	16	22	248.625
14	23	94.4	15	23	208.414	16	23	251.687

Cuadro 5.12 Evento de Septiembre de 1971
BANDAS, 1999

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

Estación	Nombre	Precipitación septiembre 1971 (mm)				Total
		13	14	15	16	
11002	Acámbaro, Acámbaro	1	38.9	17.5	2.9	60.3
11004	Aldama, Irapuato	11.2	23.5	9.9	12.4	57
11005	Apaseo, Apaseo el Grande	2.2	29	17.7	6	54.9
11006	Apaseo el Alto	3.5	38	14.5	12	68
11007	Calderones, Guanajuato	20	14	5.5	6	45.5
11008	Cañada Gonzales	18	1.5	20	5.5	45
11009	Celaya, Celaya (SMN)	9.2	8.7	4	7	28.9
11010	Cerano, Yuriria	2	6	23	6	37
11011	Cinco Señores	10.5	27.3	5	4.7	47.5
11013	Cortázar, Cortázar	2	21.5	4.5	6.5	34.5
11015	Charcas San J. Iturbide	2	10.3	13	4	29.3
11017	Dolores Hgo. C.Cap.Rural	10.5	15	38.5	0	64
11021	El Sabino, Salvatierra	8.5	22.5	9.3	1.1	41.4
11022	El Terrero, Apaseo Alto	4	28.5	15	26	73.5
11026	Hacienda San Juan	13	6.5	29.5	1.7	50.7
11028	Irapuato, Irapuato (SMN)	1.2	39.4	28.5	4.6	73.7
11033	La Begoña, San M. Allende	7.5	28.6	11.2	0.8	48.1
11041	Los Razos, Salamanca	3.2	26	5.5	26	60.7
11042	Los Rodríguez	24	5	8	0	37
11043	Lourdes, S. Luis De La Paz	33.5	2	21.5	9.5	66.5
11044	Mandujano Sta. Cruz J.R	11.5	14.3	19.5	44.2	89.5
11045	Media Luna, León	23.5	5	19	3	50.5
11047	Moroleón, Moroleón	0	11.4	11.7	0	23.1
11048	Neutla, Comofort	46	3.5	3	35	87.5
11049	Nuevo Valle Moreno, León	26	27	4	2.3	59.3
11051	Peñuelitas, D. Hidalgo	4.5	13.4	7.1	0.8	25.8
11052	Pericos, Salamanca	7	19.5	9.5	22	58
11053	Pozos, San Luis de La Paz	5.6	3.5	6.8	13.1	29
11054	Pueblo Nuevo, P. Nuevo	23.8	25.5	30	5.7	85
11056	Planta Ramos, Millan V.	1.5	24	2.8	9.3	37.6
11057	Río Lajas, Dolores Hgo.	1	0.8	2.1	0.3	4.2
11060	Salvatierra, Salvatierra	8.5	18.5	36.4	1.3	64.7
11061	San Antón, Dolores Hgo.	23	0	0	0	23
11063	San Cristóbal, S. L. P.	17	2	5	44	68
11064	San Diego de la Unión	0	8	33.6	11.6	53.2
11065	San Felipe, S. Felipe DGE	6.9	24.5	0	24.2	55.6
11066	San José Iturbide	10.5	22.5	20	2.5	55.5
11067	San J. de los Llanos SMN	8.8	27	5	18	58.8
11068	San Luis de la Paz	0.4	0.4	0	3.9	4.7
11070	Santa Julia, Cortázar	10.7	24.8	17.2	6	58.7
11071	Santa María Yuriria(DGE)	15.2	10.4	24.1	4.7	54.4
11072	Santa Rita, Jaral Del P.	44	34.8	37	14.8	130.6
11076	Solís, Acámbaro	0.9	25.2	17	0	43.1
11078	Tarimoro, Tarimoro	13.5	7	4	62	86.5
11079	Valle de Santiago	5.9	31.8	12.2	9.6	59.5
11080	Villa Doctor Mora (SMN)	2	10.3	13	4	29.3

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11082	Victoria, Victoria	15	6.5	16	7.5	45
11084	Celaya, Celaya (DGE)	8.89	9.4	4.19	7.02	29.5*
11085	Dos Arroyos, S. Miguel. A	12.42	17.18	14.38	35.24	79.22*
11088	San José Iturbide (DGE)	10.5	22.5	20	2.5	55.5
11094	Guanajuato, Guanajuato	12	22.8	26.7	2.2	63.7
11096	Salamanca, Salamanca	23.5	30.5	7.1	20.1	81.2
11105	Ameche, Apaseo	2.71	44.33	14.19	11.19	72.42*
11107	La Quemada, San Felipe	10.2	11.97	8.75	11.43	42.35*
11118	San Miguel Allende	12.62	20.16	8.84	1.24	42.86*
11122	Presa Jalpa, S.M.Allende	15.35	31.62	10.08	14.28	71.33*
16027	Cuitzeo, Cuitzeo	1.7	4.9	5.7	0	12.3
16052	Huingo, Zinapécuaro	4.4	10.6	30.6	0.7	46.3
22004	El Batán, Corregidora	3.8	45.5	13.8	13.3	76.4
22006	V. Pueblito A. Corregidora	1	84	7.5	17	109.5
22011	Pedro Escobedo	0	0	0	0	0
22024	Tres Lagunas	2.4	28.94	17.29	6.41	55.04*
24093	Tierranueva, Tierranueva	0	10	0	8	18

Cuadro 5.13 Lluvia registrada en las estaciones climatológicas para el evento de 1971 resaltando las estaciones con dato calculado

ERIC III

	Lluvia día 13 (mm)	Lluvia día 14 (mm)	Lluvia Día 15 (mm)	Lluvia día 16 (mm)	Total (mm)
	640.19	1149.30	829.22	640.21	3258.92
Porcentaje	20%	35%	25%	20%	100%

Cuadro 5.14 Promedios y porcentajes de lluvia para el evento de Septiembre de 1971

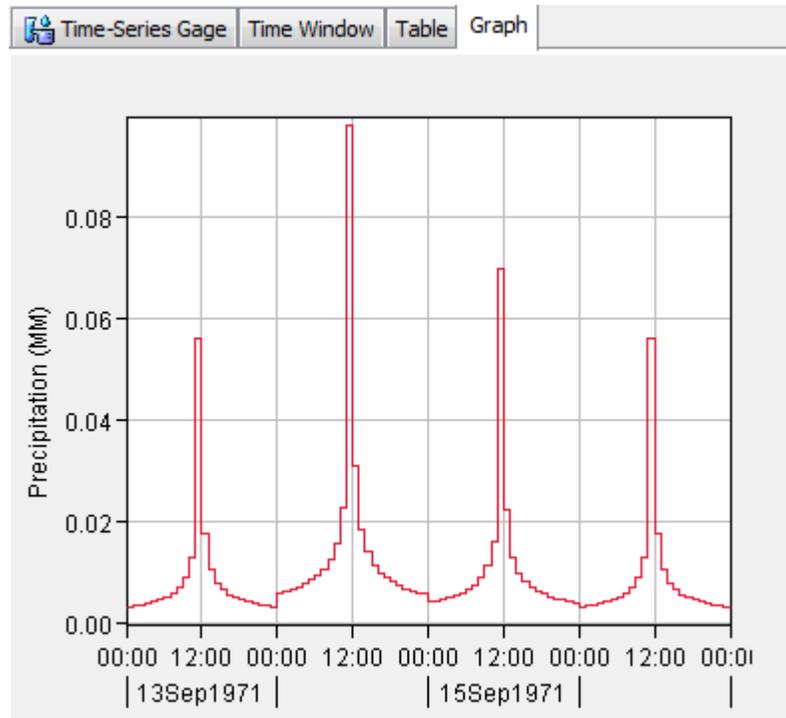


Fig. 5.56 Distribución de la lluvia en los 4 días para el evento de Septiembre de 1971 con el método de la tormenta balanceada

The figure shows a 'Control Specifications' dialog box. The title is 'Control Specifications'. Below the title, there is a section for 'Name: Control 3'. The 'Description' field is empty. The 'Start Date (ddMMYYYY)' is '13sep1971', 'Start Time (HH:mm)' is '00:00', 'End Date (ddMMYYYY)' is '17sep1971', and 'End Time (HH:mm)' is '00:00'. The 'Time Interval' is set to '1 Hour' in a dropdown menu.

Fig. 5.57 Especificaciones de control para el evento de Septiembre de 1971

Comisión Nacional de Aguas	
Subdirección General Técnica	
Gerencia De Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos	
Nombre Oficial: Presa Solís	Clave: 410SOL
Corrientes Alimentadoras: Río Lerma	Región: Lerma – Santiago
Cuenca Principal: Río Lerma	Estado: Guanajuato
Entradas totales por ríos (gastos), del año 1976 (m3/s)	
Día	Septiembre
13	92.257
14	100.06
15	208.199
16	202.507

Cuadro 5.15 Entradas a la presa Solís para el evento de 1971
BANDAS

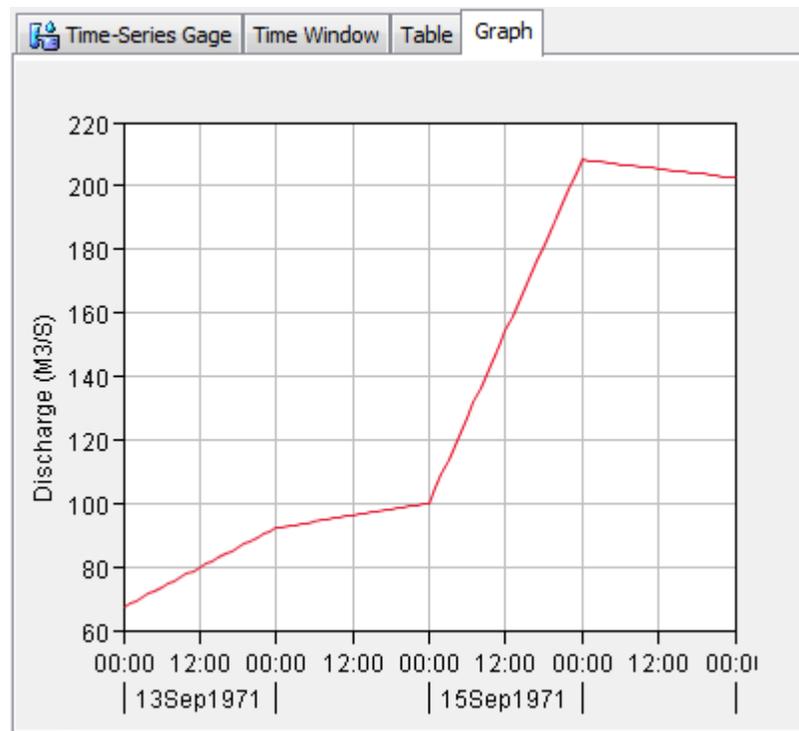


Fig. 5.58 Hidrograma de entrada a la presa Solís para el evento de 1971

Para este evento, fue considerada nuevamente llena la presa Solís, así mismo, la obra de toma abierta. De esta forma se corrió el modelo hasta volver a ajustar los hidrogramas:

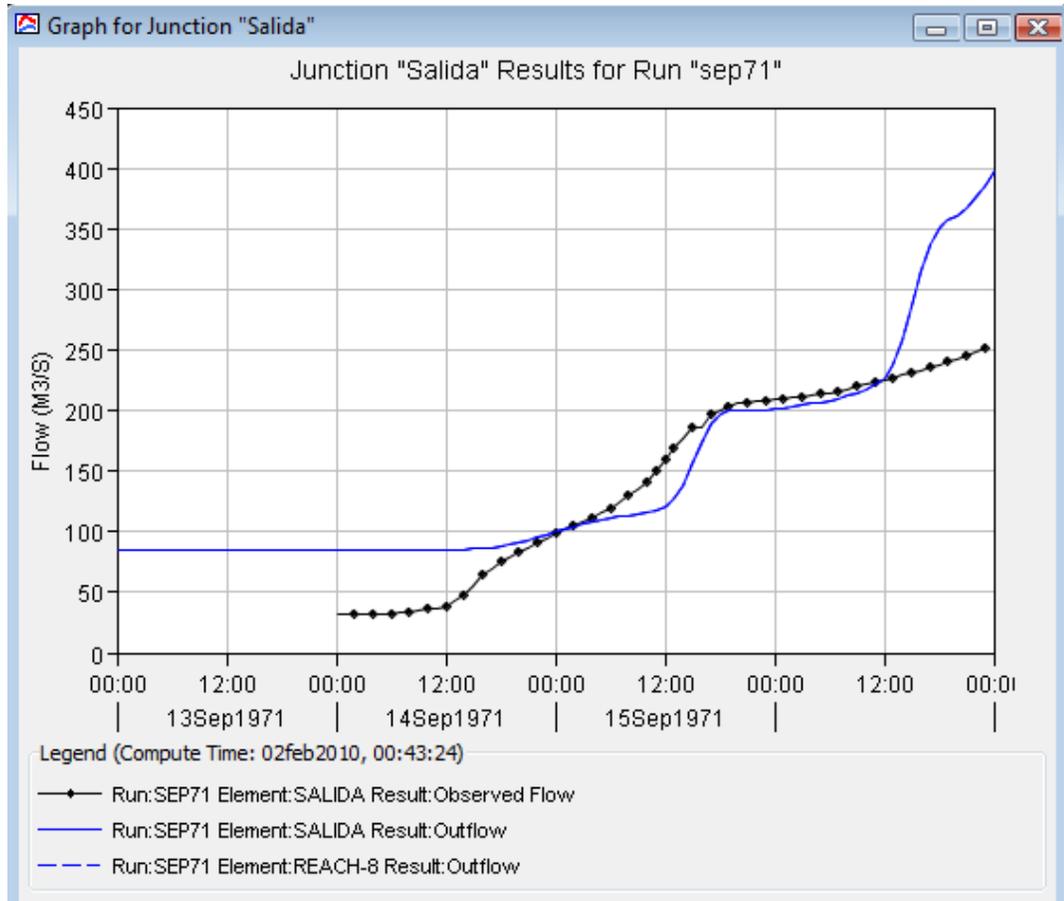


Fig. 5.59 Hidrograma observado (Negro) Vs Hidrograma Simulado (azul) del evento de 1971

Los parámetros variaron así:

Subbasin	Lag Time (MIN)
Subcuenca 1	658.24
Subcuenca 2	535.96
Subcuenca 3	368.01
Subcuenca4	204.34
Subcuenca5	201.81
subcuenca6	350
Subcuenca7	837.04
Subcuenca8	239.55
Subcuenca9	950
Subcuenca 10	594.35
Subcuenca 11	330
Subcuenca 12	305.01
Subcuenca 13	585.12
subcuenca 14	550.38

Fig. 5.60 Captura del HEC- HMS del ajuste de los tiempos de retardo para el evento de 1971

Subbasin	Initial Abstraction (MM)
Subcuenca 1	55
Subcuenca 2	60
Subcuenca 3	65
Subcuenca4	40
Subcuenca5	35
subcuenca6	35
Subcuenca7	20
Subcuenca8	32
Subcuenca9	40
Subcuenca 10	25
Subcuenca 11	25
Subcuenca 12	25
Subcuenca 13	25
subcuenca 14	30

Fig. 5.61 Captura del HEC-HMS del ajuste de las pérdidas iniciales para el evento de 1971

A continuación, una tabla-resumen donde se presentan los parámetros en los tres eventos, se obtuvo un promedio, el cual será el valor definitivo en el modelo para la simulación de lluvia en diferentes periodos de retorno:

Subcuenca	Tiempo de retardo (min)				Pérdida inicial (mm)			
	1998	1976	1971	Promedio	1998	1976	1971	Promedio
1	601	358.24	658.24	539.16	30	35	55	40
2	252	435.96	535.96	407.97	27	35	60	40.67
3	399	368.01	368.01	378.34	54	35	65	51.33
4	202	204.34	204.34	203.56	54	35	40	43
5	497	201.81	201.81	300.21	50	25	35	36.67
6	398	600	350	449.33	53	50	35	46
7	500	837.04	837.04	724.69	35	30	20	28.33
8	302	439.55	239.55	327.03	30	15	32	25.67
9	902	1028.86	950	960.29	30	40	40	36.67
10	500	794.35	594.35	629.57	20	25	25	23.33
11	304	474.29	330	369.43	20	30	25	25
12	295	405.01	305.01	335.01	20	35	25	26.67
13	605	885.12	585.12	691.75	20	35	25	26.67
14	613	750	550.38	637.79	20	35	30	28.33

Cuadro 5.16 Promedios de los parámetros ajustados para los tres eventos

Estos valores fueron introducidos al HEC-HMS, con el fin de comenzar las simulaciones para diferentes periodos de retorno.

6. SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

6.1. Escenario base 1: Resultados para los diferentes periodos de retorno considerando que no hay aportación de la presa Solís

A continuación, se presentan las simulaciones para los diferentes periodos de retorno, considerando que no hay aportación de la presa Solís, solo como aclaración, los eventos simulados ocurren los días 1 al 4 de enero de 2000 considerando que el día que se registran las lluvias es el 1 de enero, los restantes 3 días no llueve. Cabe señalar que estas fechas son hipotéticas y corresponden solamente a tiempos de acumulación.

a) Simulación para T= 2 años

Se simuló el modelo con las condiciones señaladas y para una lluvia con periodo de retorno de 2 años, se presenta a continuación el hidrograma obtenido:

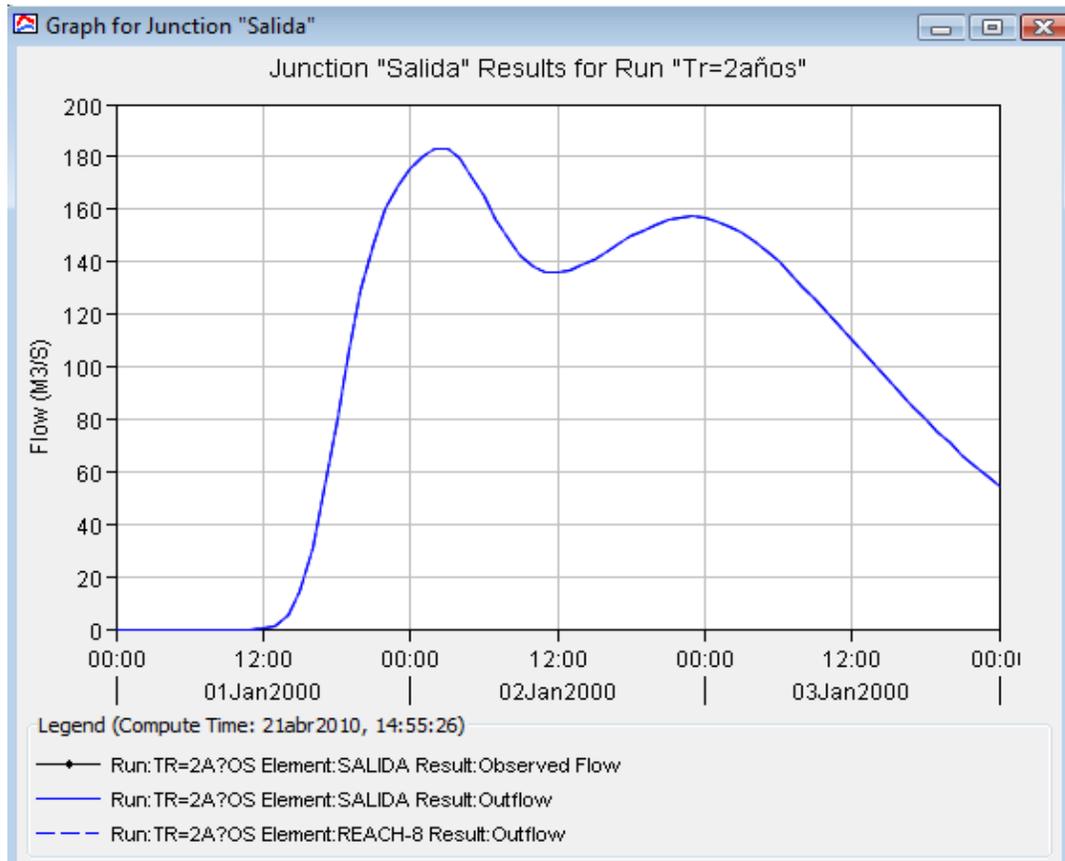


Fig. 6.1 Hidrograma simulado para T=2 a la salida de la cuenca sin aportación de la presa Solís

Así mismo se determinó su gasto pico y el volumen escurrido.

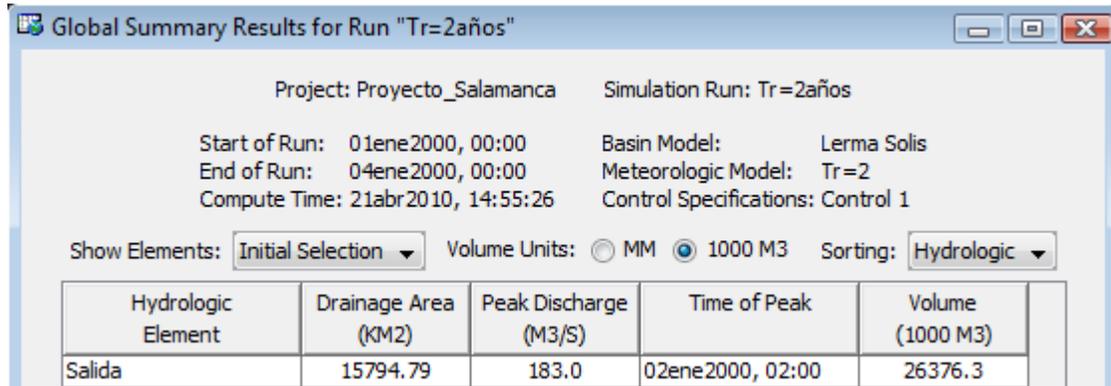


Fig. 6.2 Gasto pico y volumen escurrido para T=2 en la salida de la cuenca sin considerar aportación de la presa Solís

b) Simulación para T= 5 años

El siguiente escenario fue para T=5 años, se simuló el sistema y se obtuvieron los siguientes resultados en relación al hidrograma en la salida de la cuenca:

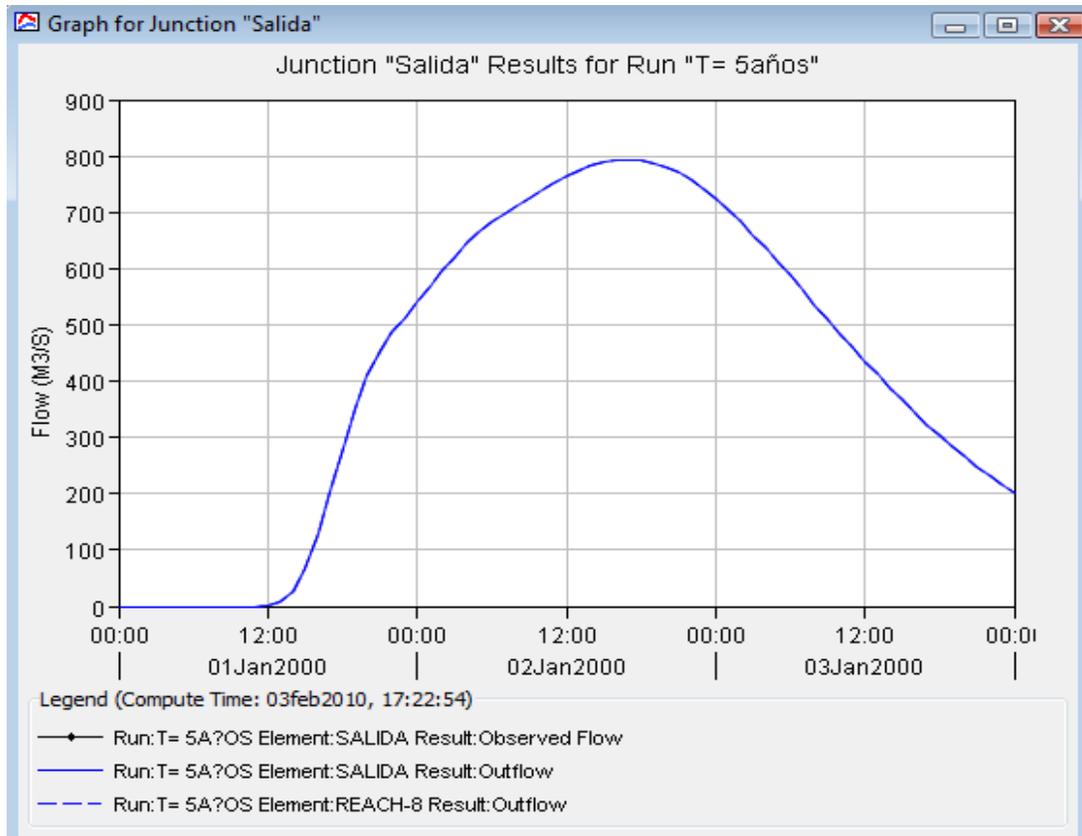


Fig. 6.3 Hidrograma simulado para T=5 a la salida de la cuenca sin aportación de la presa Solís

Y también se determinó cual fue su gasto pico y su volumen escurrido:

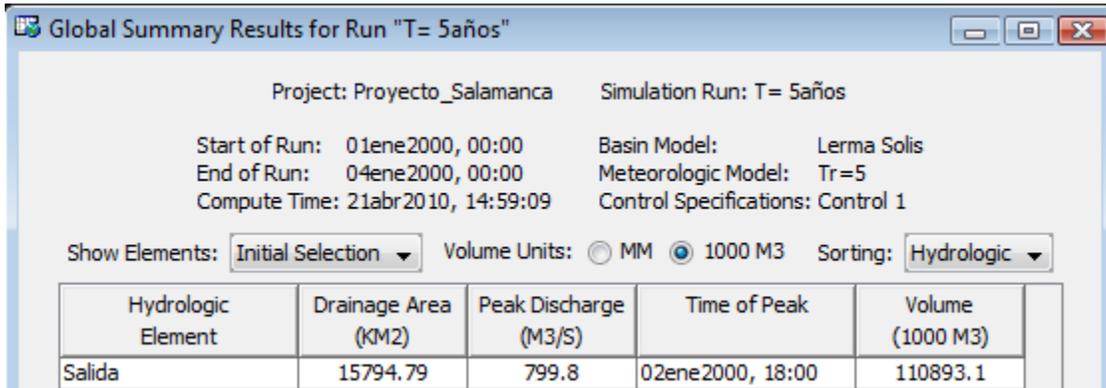


Fig. 6.4 Gasto pico y volumen escurrido para T=5 en la salida de la cuenca sin considerar aportación de la presa Solís

c) Simulación para T= 10 años

A continuación, la simulación para T=10 años con las condiciones señaladas, una vez que se corrió el sistema se presentó el siguiente hidrograma:

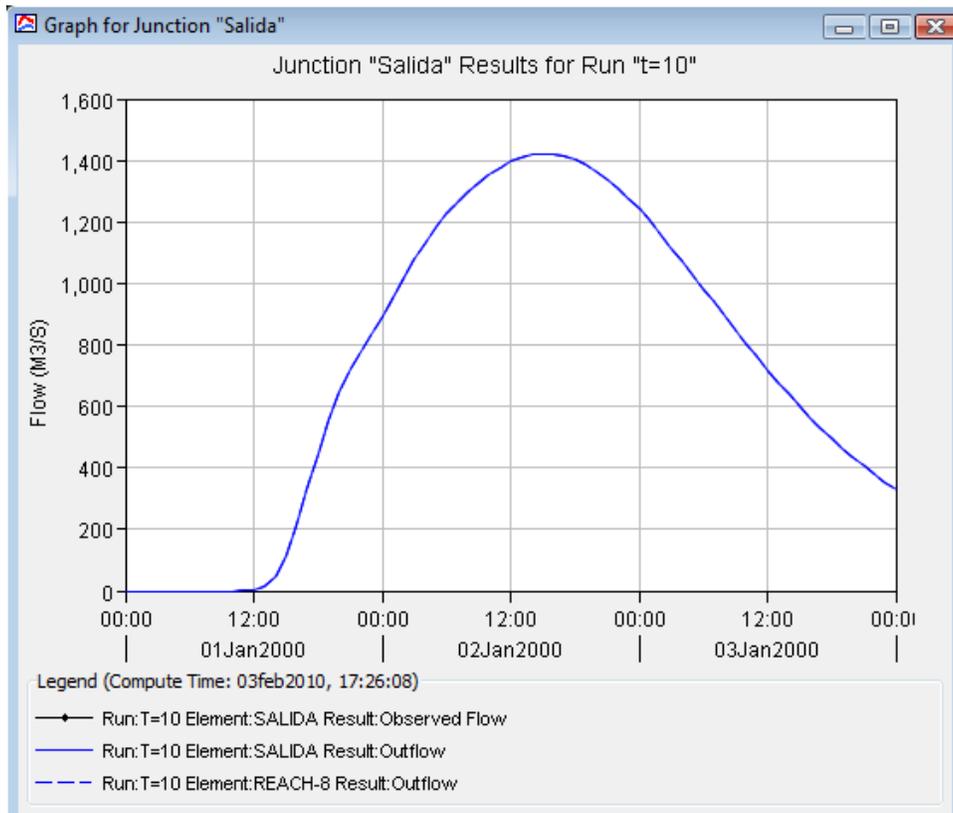


Fig. 6.5 Hidrograma simulado para T=10 a la salida de la cuenca sin aportación de la presa Solís

Así mismo se obtuvo el gasto pico y el volumen escurrido, todo esto a la salida de la cuenca:

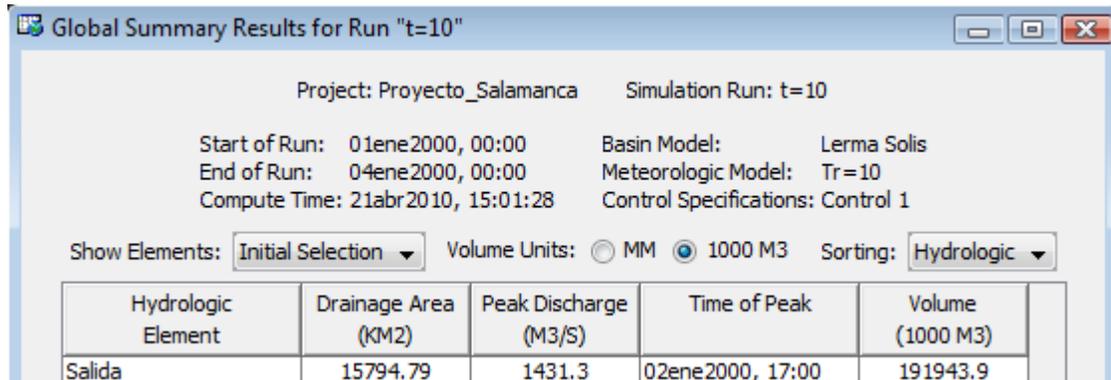


Fig. 6.6 Gasto pico y volumen escurrido para T=10 en la salida de la cuenca sin considerar aportación de la presa Solís

d) Simulación para T= 50 años

Ahora, se determino el hidrograma a la salida del sistema para un T=50 años con las mismas condiciones, se presenta dicho hidrograma en la figura 6.7:

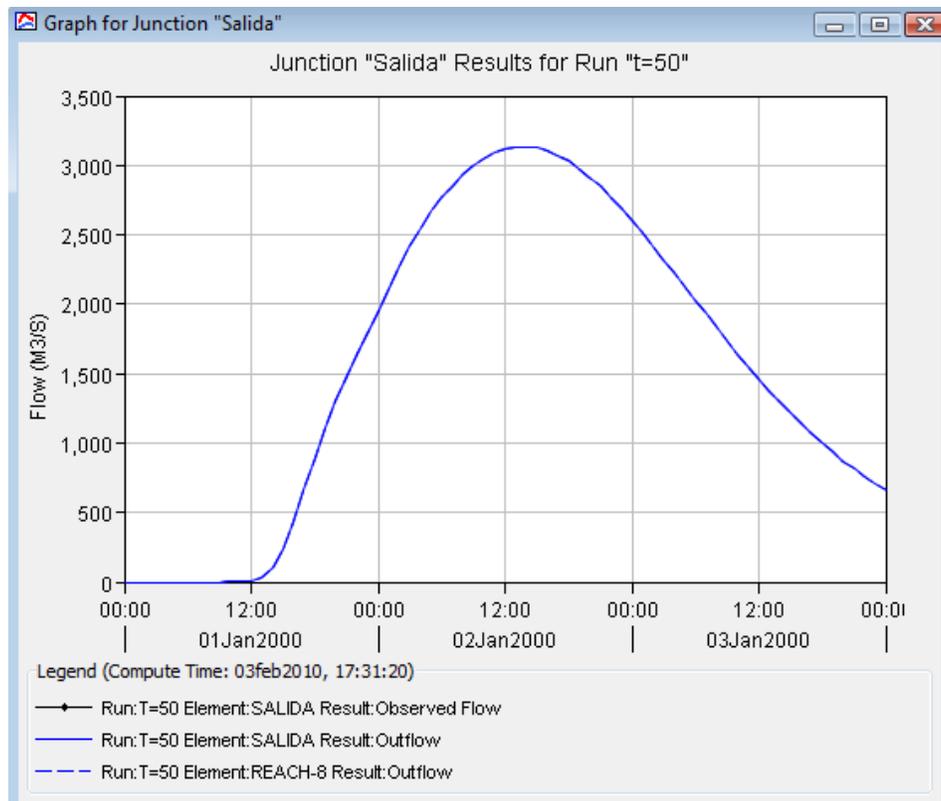


Fig. 6.7 Hidrograma simulado para T=50 a la salida de la cuenca sin aportación de la presa Solís

Al igual que en los casos anteriores, se determinó el gasto pico y el volumen escurrido para este evento:

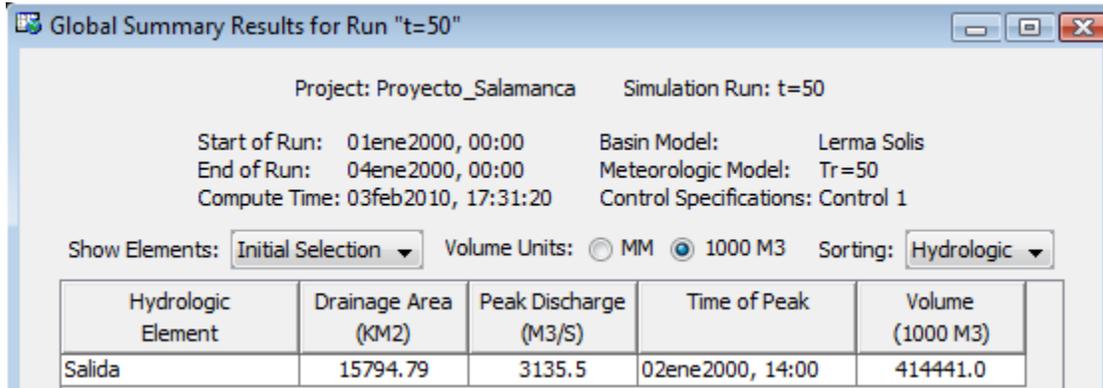


Fig. 6.8 Gasto pico y volumen escurrido para T=50 en la salida de la cuenca sin considerar aportación de la presa Solís

e) Simulación para T= 100 años

El mismo modelo fue simulado ahora para el periodo de retorno de 100 años, presentando a continuación el hidrograma observado a la salida:

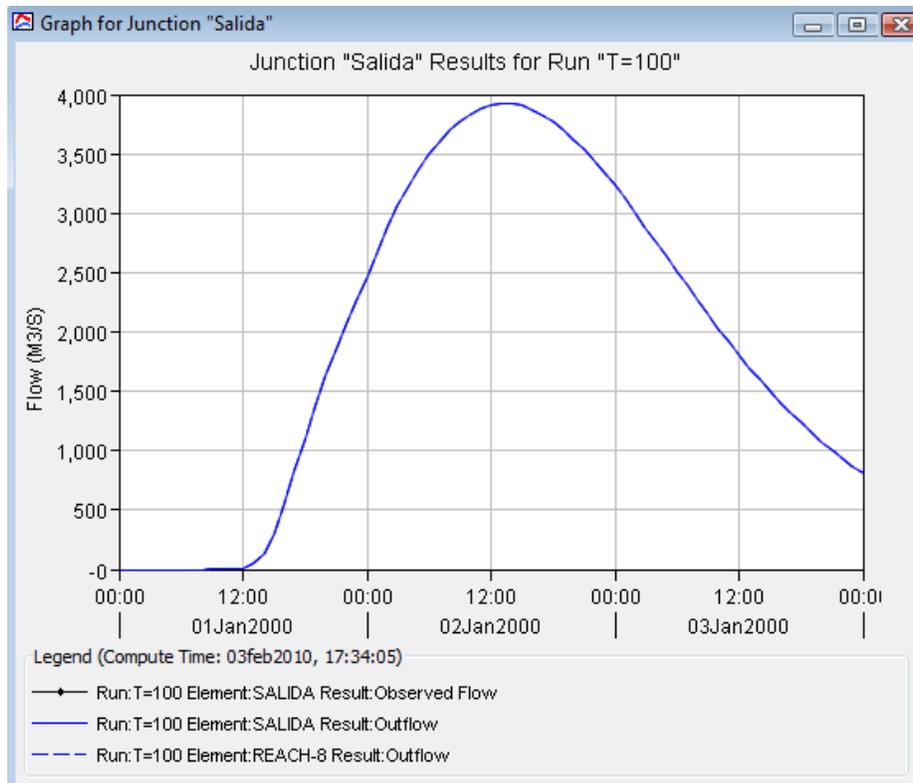


Fig. 6.9 Hidrograma simulado para T=100 a la salida de la cuenca sin aportación de la presa Solís

Igualmente se obtuvo el gasto pico y el volumen escurrido para este periodo de retorno:

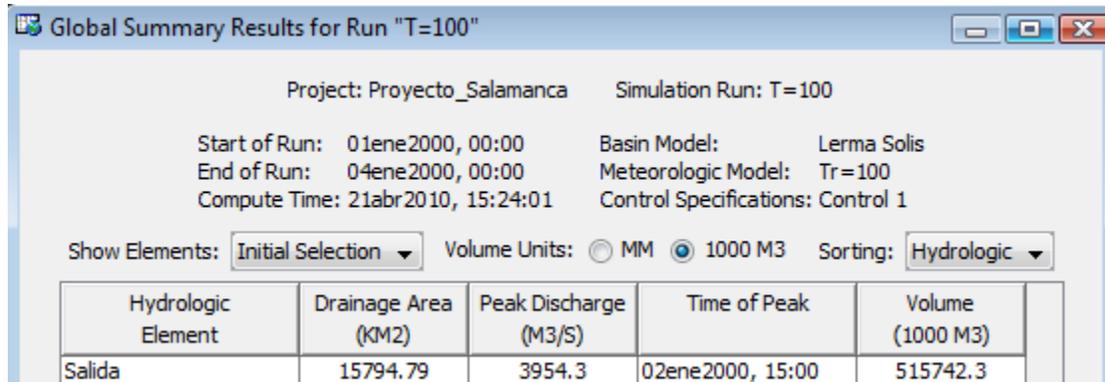


Fig. 6.10 Gasto pico y volumen escurrido para T=100 en la salida de la cuenca sin considerar aportación de la presa Solís

f) Simulación para T= 200 años

Con las mismas condiciones se simuló para T=200 años:

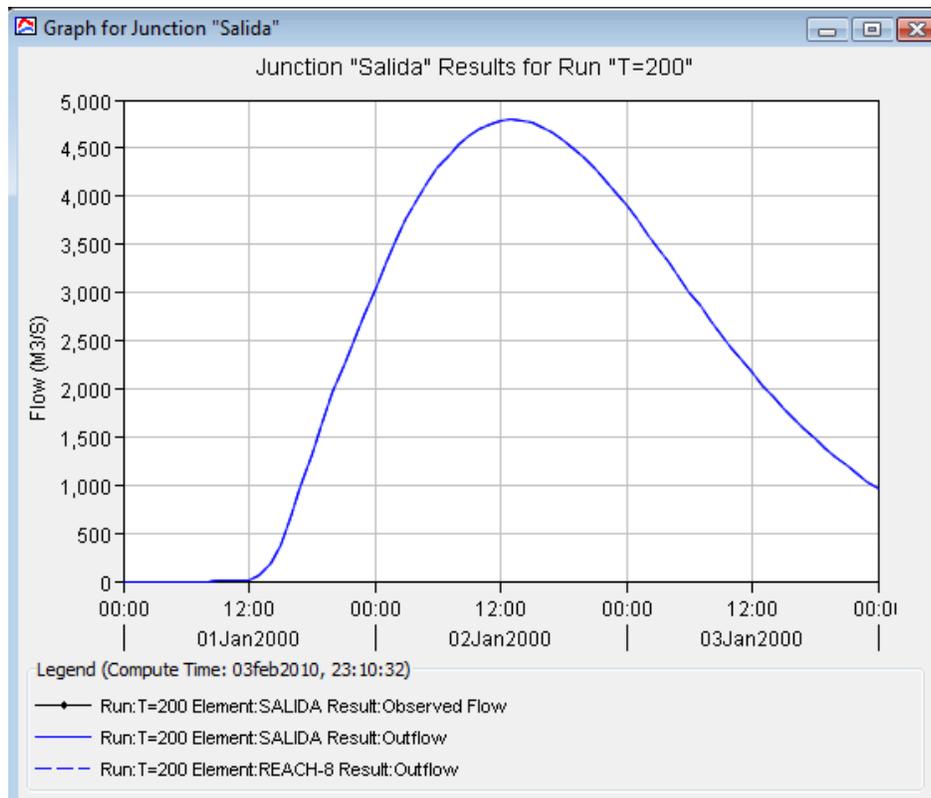


Fig. 6.11 Hidrograma simulado para T=200 a la salida de la cuenca sin aportación de la presa Solís

Al mismo tiempo, se determinó el gasto pico y el volumen escurrido:

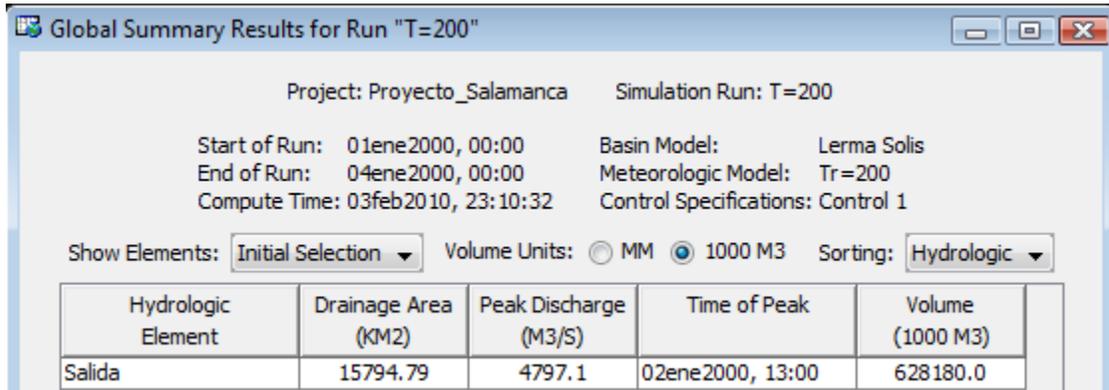


Fig. 6.12 Gasto pico y volumen escurrido para T=200 en la salida de la cuenca sin considerar aportación de la presa Solís

d) Simulación para T= 1000 años

El modelo fue corrido ahora para T=1000 años, se presenta el hidrograma a la salida:

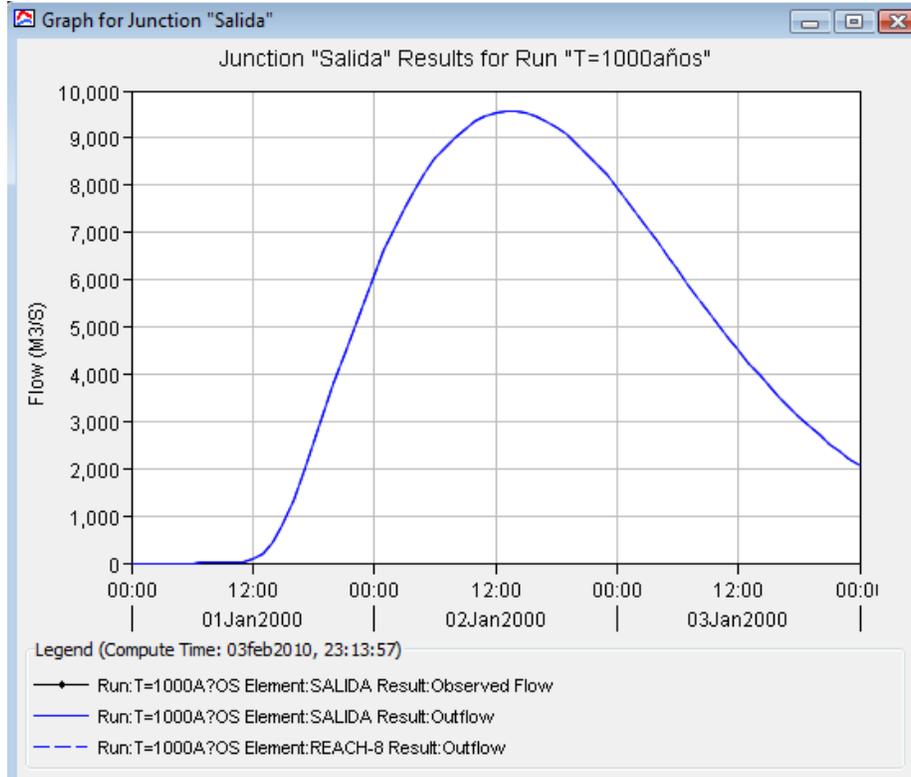


Fig. 6.13 Hidrograma simulado para T=1000 a la salida de la cuenca sin aportación de la presa Solís

Así mismo, se determinó el gasto pico y el volumen escurrido en la salida de la cuenca:

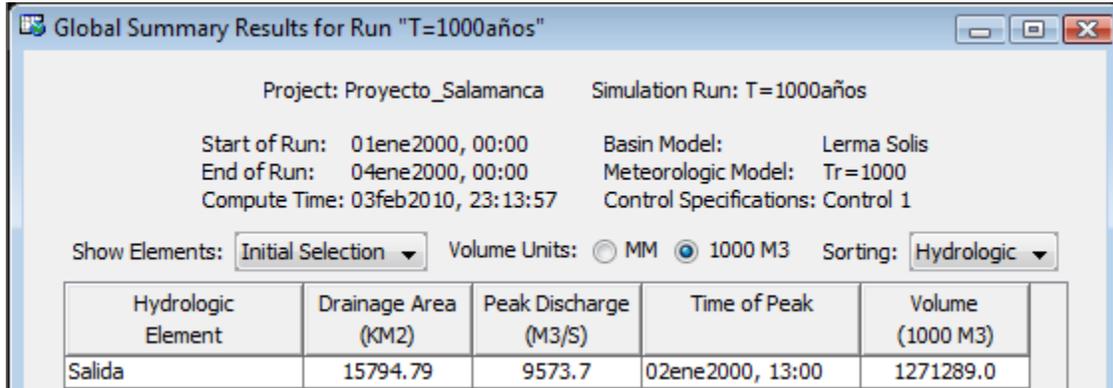


Fig. 6.14 Gasto pico y volumen escurrido para T=1000 en la salida de la cuenca sin considerar aportación de la presa Solís

6.2. Escenario base 2: Simulación de eventos “pequeños” con hidrograma de entrada de 10% de la avenida (220m³/s) de diseño del vertedor de la presa Solís y con obra de toma a su máxima capacidad

a) Simulación para T= 2 años

Se simuló el modelo para las nuevas condiciones señaladas y para una lluvia para T= 2 años, a continuación se presenta las condiciones de entrada y salida de la presa Solís:

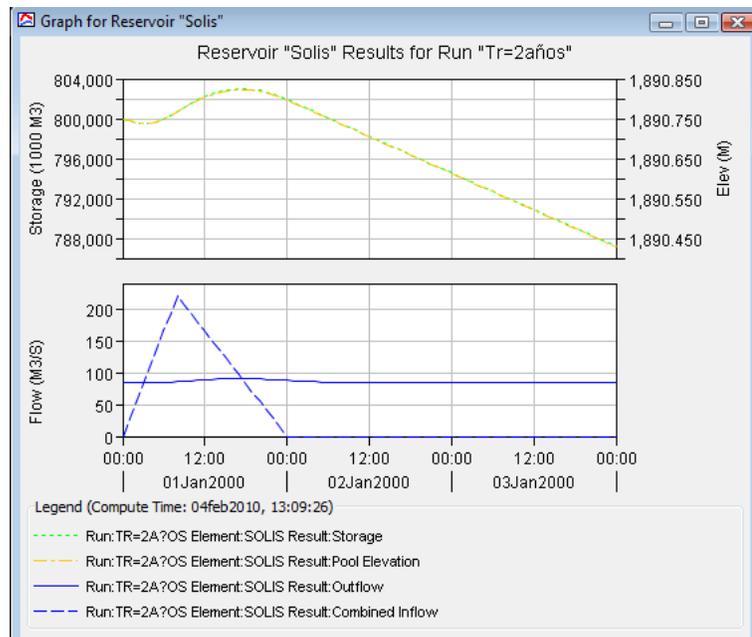


Fig. 6.15 Comportamiento de la presa Solís con el hidrograma de entrada del 10% de avenida de diseño del vertedor

Se muestra a continuación el hidrograma obtenido en esta simulación:

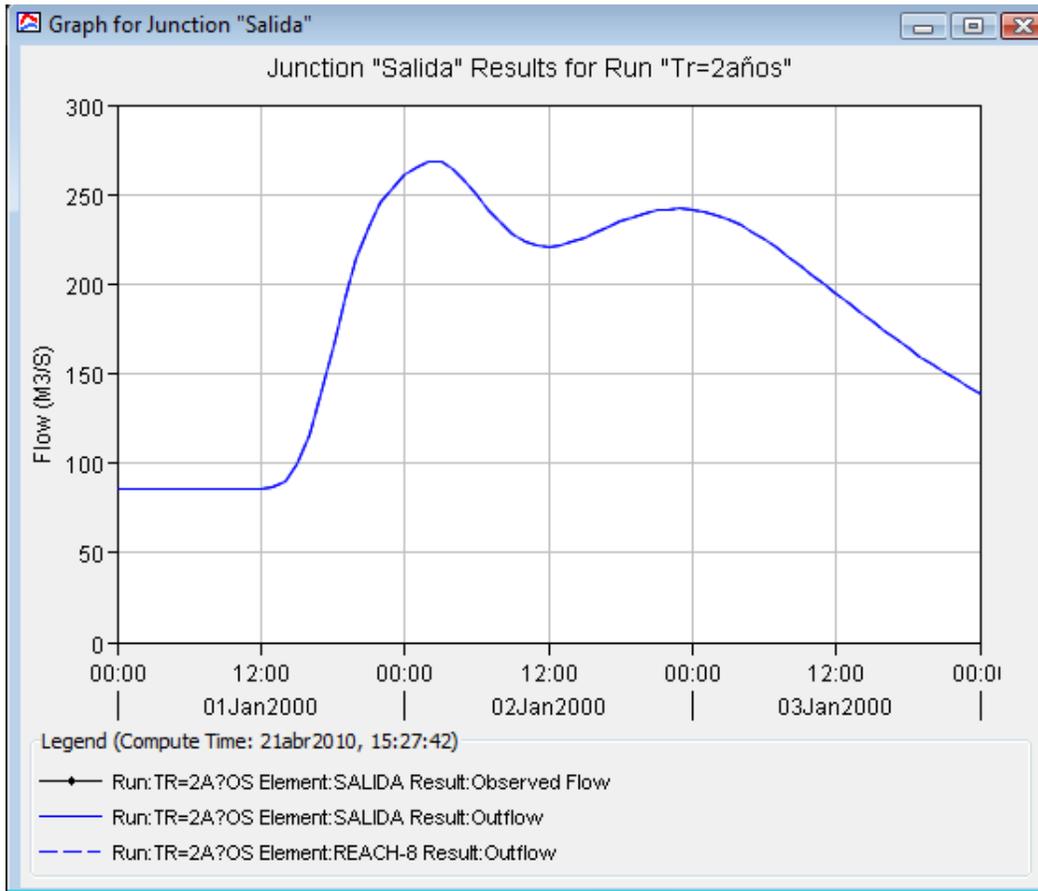


Fig. 6.16 Hidrograma simulado para T=2 a la salida de la cuenca con aportación de la presa Solís y una entrada del 10% de la avenida de diseño del vertedor

Y también se muestran el gasto pico y el volumen escurrido:

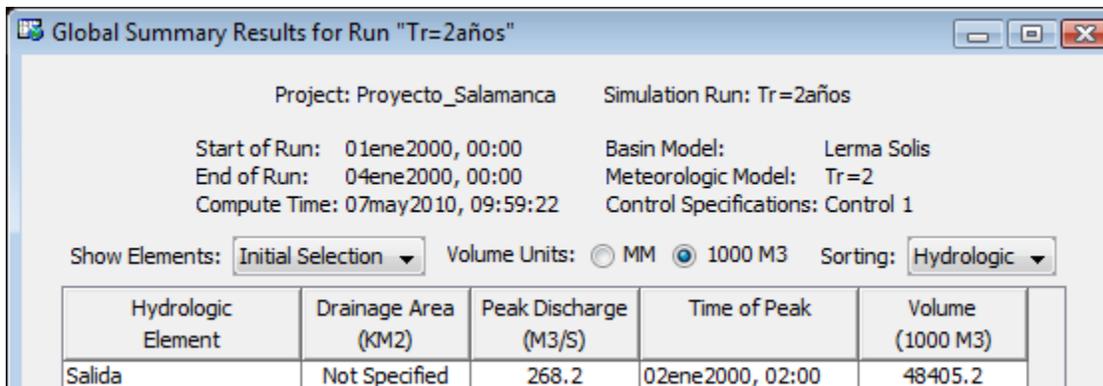


Fig. 6.17 Gasto pico simulado para T=2 a la salida de la cuenca con aportación de la presa Solís y una entrada del 10% de la avenida de diseño del vertedor

b) Simulación para T= 5 años

Con idénticas condiciones que el caso anterior, se simuló ahora el modelo para una lluvia con T=5 años, una vez que se corrió el sistema, se obtuvo el siguiente hidrograma a la salida de la cuenca:

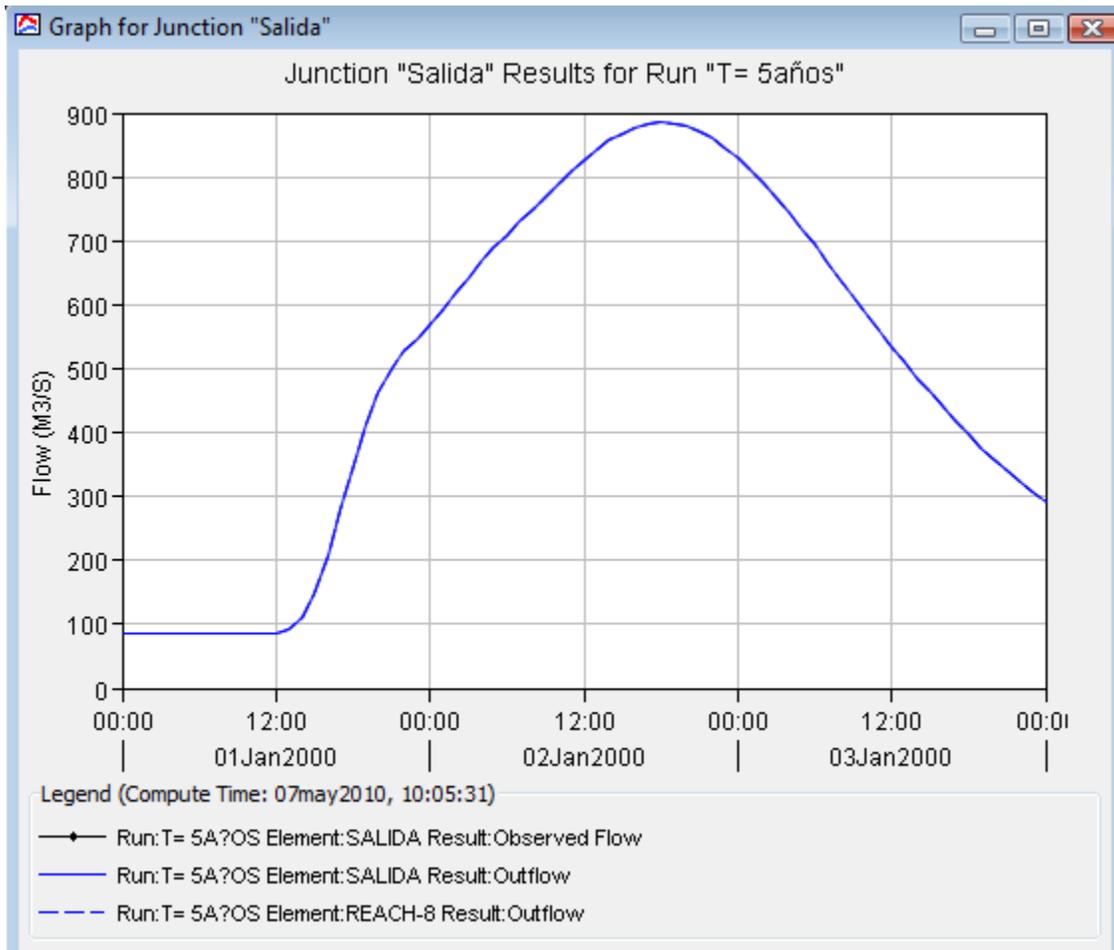


Fig. 6.18 Hidrograma simulado para T=5 a la salida de la cuenca con aportación de la presa Solís y una entrada del 10% de la avenida de diseño del vertedor

De la misma manera se obtuvieron, el gasto pico y el volumen escurrido, dichos valores se aprecian en la figura siguiente:

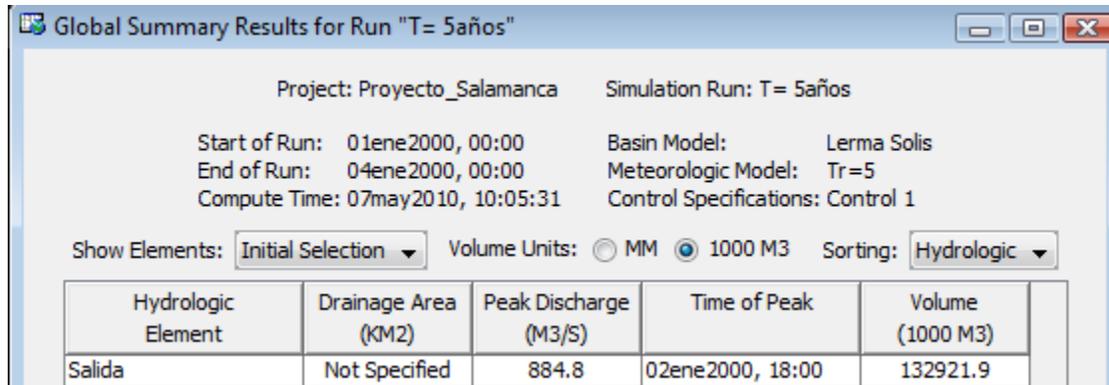


Fig. 6.19 Gasto pico simulado para T=5 a la salida de la cuenca con aportación de la presa Solís y una entrada del 10% de la avenida de diseño del vertedor

6.3. Escenario base 3: Simulación de eventos “medianos” con entradas del 25 y 50% del hidrograma de diseño del vertedor para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años y con la obra de toma a su máxima capacidad

a) Simulación para T=10 años con el 25% del hidrograma de diseño del vertedor (550 m³/s)

En esta simulación, se presentan los resultados arrojados por HEC- HMS para las condiciones establecidas, y se presenta en la figura siguiente el comportamiento de la presa Solís:

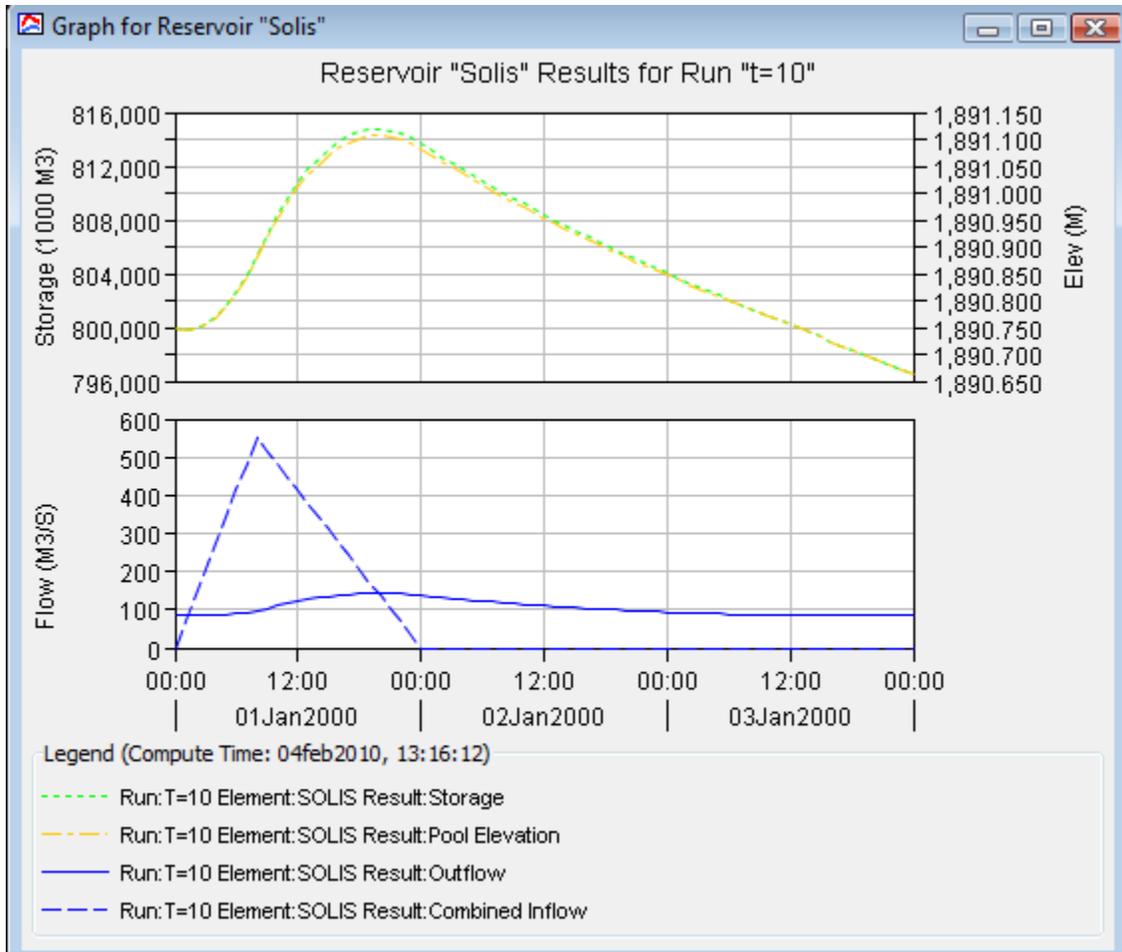


Fig. 6.20 Comportamiento de la presa Solís con hidrograma de entrada correspondiente al 25% de la avenida de diseño del vertedor.

Se indica a continuación, el hidrograma presentado a la salida de la cuenca (ciudad de Salamanca), para estas condiciones:

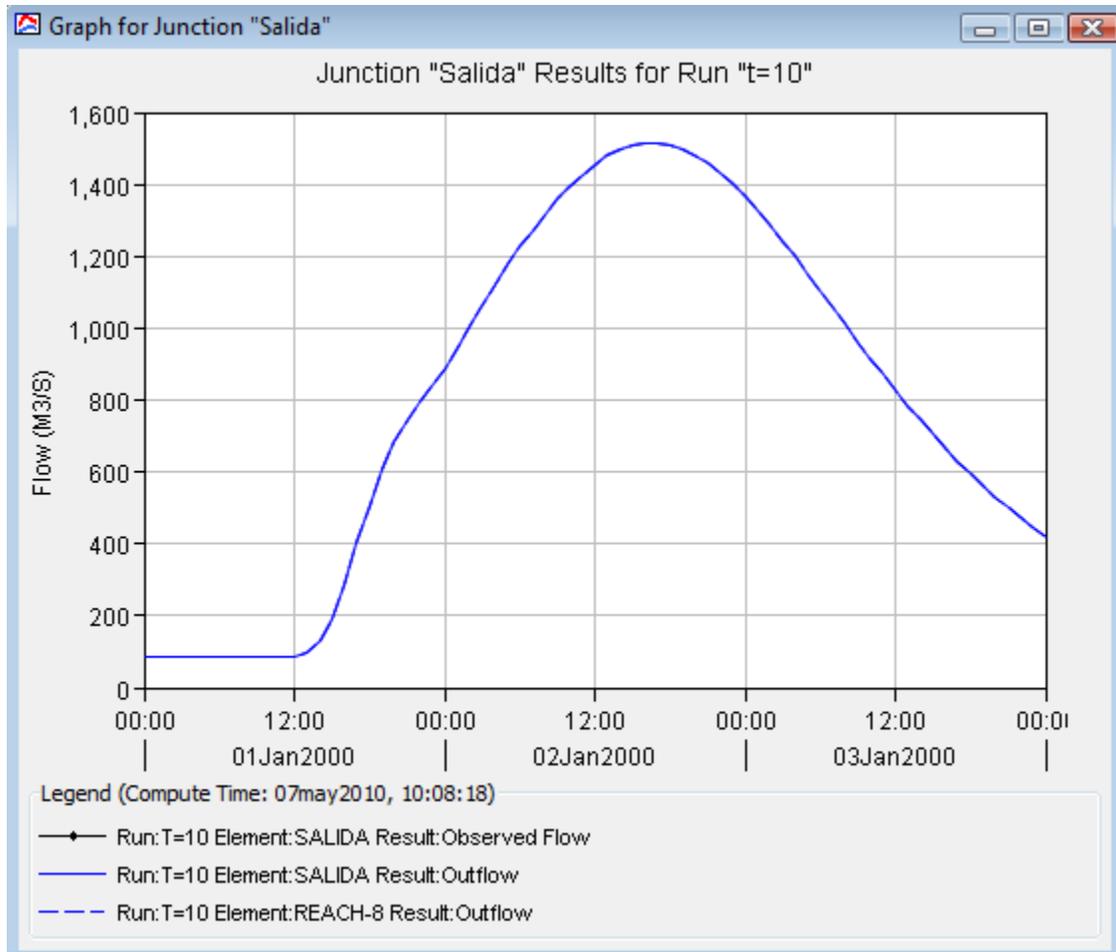


Fig. 6.21 Hidrograma simulado para T=10 a la salida de la cuenca con aportación de la presa Solís y la entrada igual al 25% de la avenida de diseño del vertedor

Así mismo se obtuvo el gasto pico y el volumen escurrido para este evento:

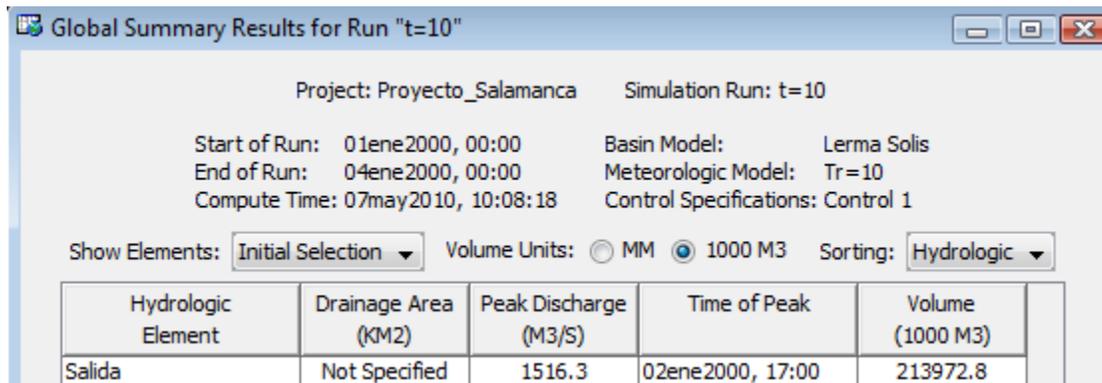


Fig. 6.22 Gasto pico simulado para T=10 a la salida de la cuenca con aportación de la presa Solís y una entrada igual al 25% de la avenida de diseño del vertedor

b) Simulación para T=50 años con el 25% del hidrograma de diseño del vertedor (550 m³/s)

Se simuló el evento con las condiciones establecidas, y se muestra a continuación el hidrograma obtenido en HEC-HMS:

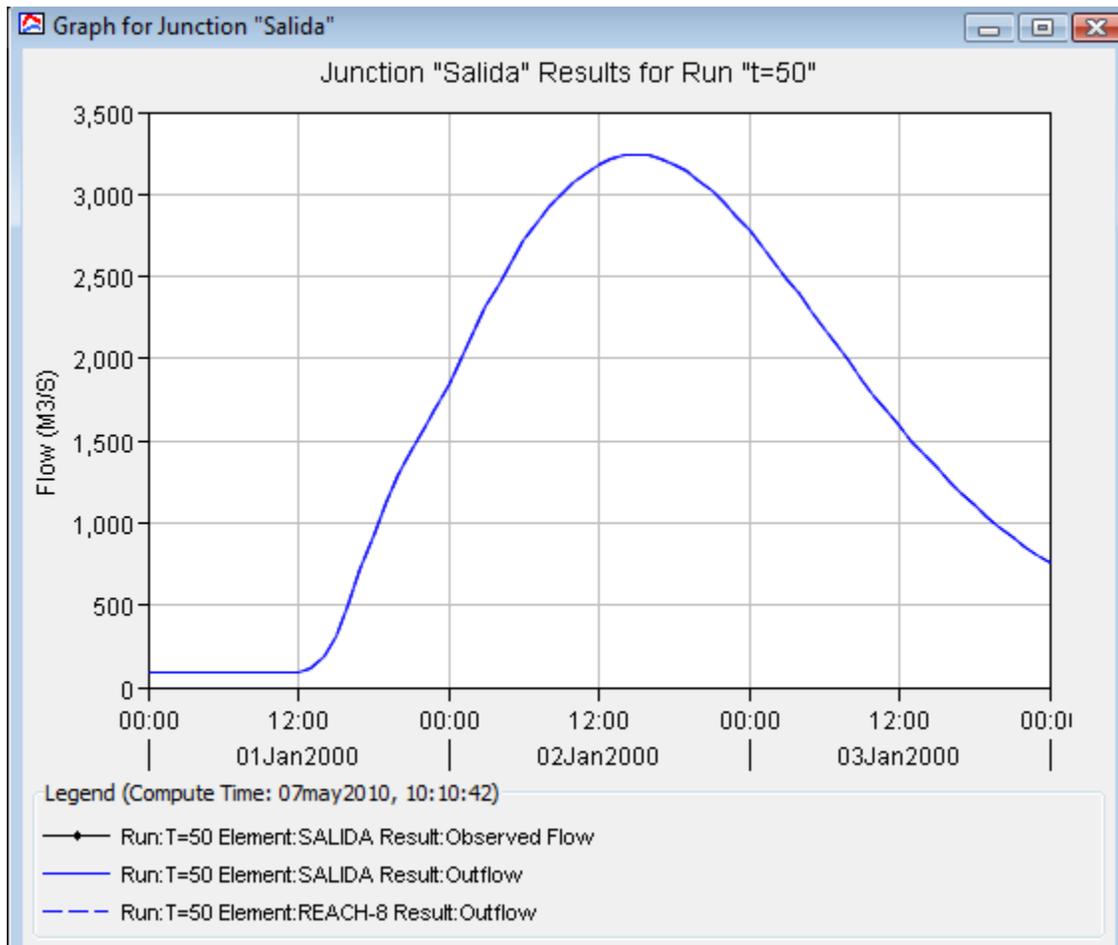
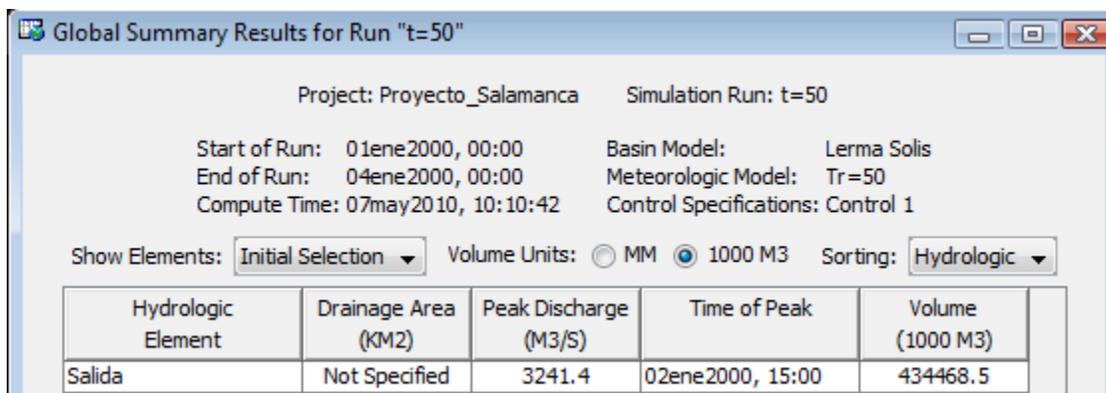


Fig. 6.23 Hidrograma simulado para T=50 a la salida de la cuenca con aportación de la presa Solís y la entrada igual al 25% de la avenida de diseño del vertedor

Así mismo, se obtuvo el gasto pico y el volumen escurrido para este evento, en la figura siguiente se pueden observar estos datos extraídos igualmente de HEC-HMS:



Project: Proyecto_Salamanca Simulation Run: t=50

Start of Run: 01ene2000, 00:00 Basin Model: Lerma Solis
End of Run: 04ene2000, 00:00 Meteorologic Model: Tr=50
Compute Time: 07may2010, 10:10:42 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Initial Selection Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Salida	Not Specified	3241.4	02ene2000, 15:00	434468.5

Fig. 6.24 Gasto pico simulado para T=50 a la salida de la cuenca con aportación de la presa Solís y una entrada igual al 25% de la avenida de diseño del vertedor

c) Simulación para T=100 años con el 50% del hidrograma de diseño del vertedor (1100 m³/s)

Con estas condiciones, se volvió a simular el modelo en el software, a continuación se muestra el comportamiento de la presa Solís de acuerdo a las condiciones mencionadas, se observa como los niveles de agua van disminuyendo hasta buscar una estabilización así como en los casos pasados:

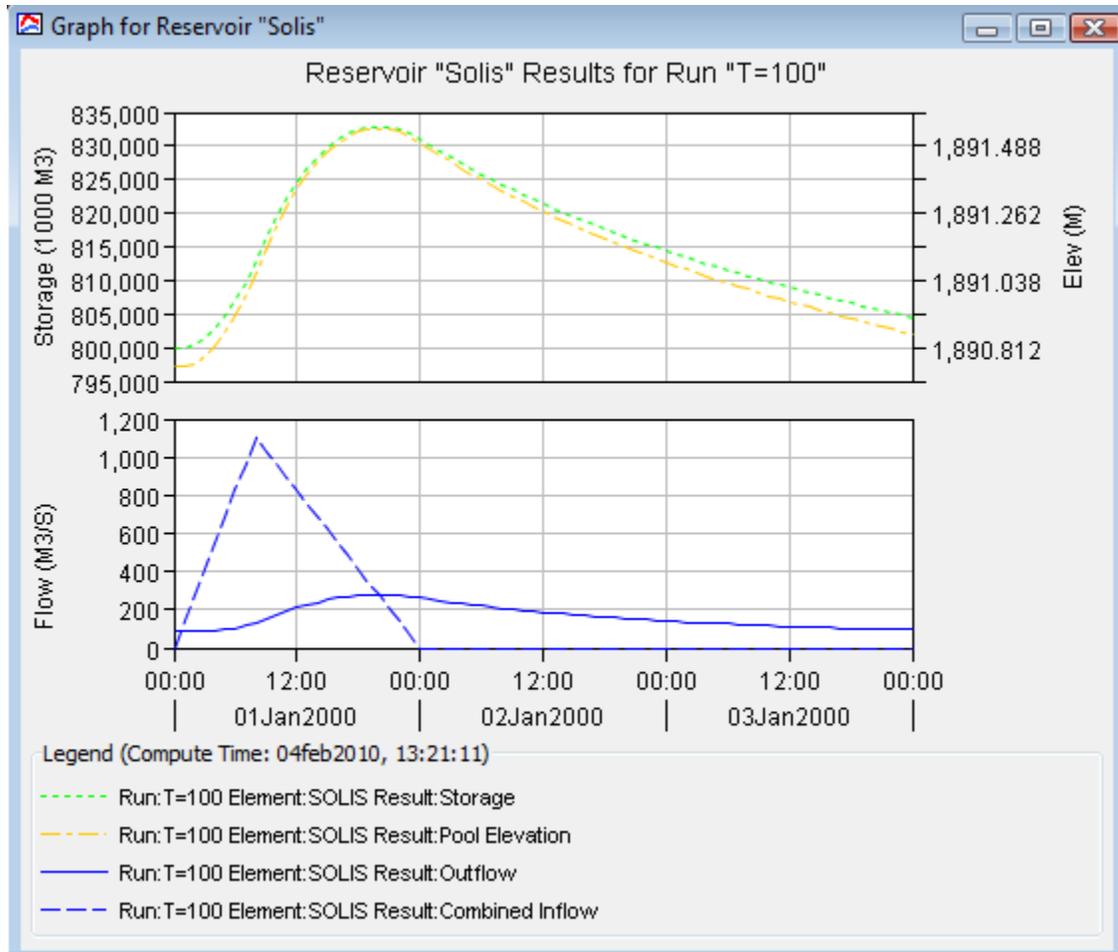


Fig. 6.25 Comportamiento de la presa Solís con hidrograma de entrada correspondiente al 50% de la avenida de diseño del vertedor.

De la misma manera, se observo el comportamiento del hidrograma en la salida del modelo, en relación con las condiciones establecidas, se observa en la figura siguiente el comportamiento de dicho hidrograma:

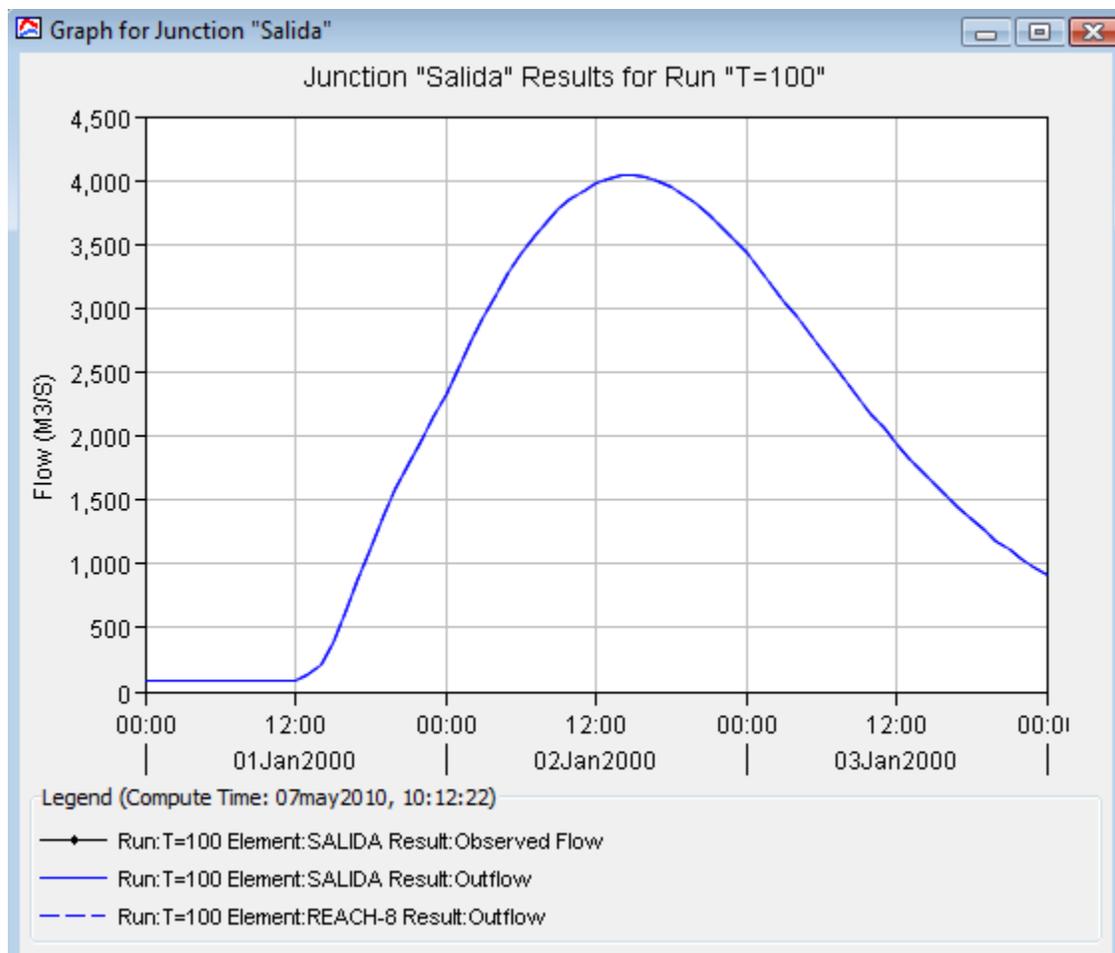


Fig. 6.26 Hidrograma simulado para T=100 a la salida de la cuenca con aportación de la presa Solís y la entrada igual al 50% de la avenida de diseño del vertedor

Y como en los casos anteriores también se determino el gasto pico y el volumen escurrido, los cuales se presentan a continuación:

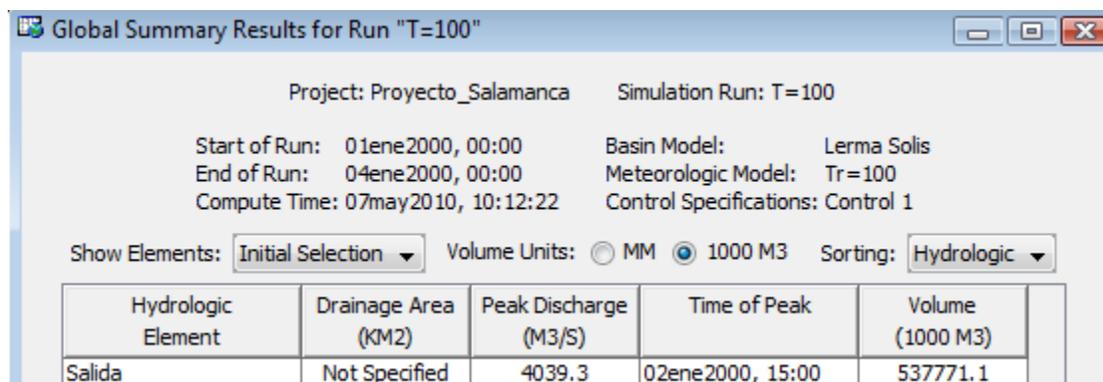


Fig. 6.27 Gasto pico simulado para T=100 a la salida de la cuenca con aportación de la presa Solís y una entrada igual al 50% de la avenida de diseño del vertedor

6.4. Escenario base 4: Simulación de eventos “grandes” con entrada correspondiente a la avenida de diseño del vertedor para periodos de retorno de 200 y 1000 años y con la obra de toma a su máxima capacidad

a) Simulación para T=200 años

Finalmente se simularon los eventos más extremos, en relación a la avenida de diseño del vertedor y los periodos de retorno más grandes, para este primer caso, se muestra nuevamente el comportamiento de la presa Solís con las condiciones mencionadas, y al igual que en los casos anteriores se observa en la figura siguiente dicho comportamiento.

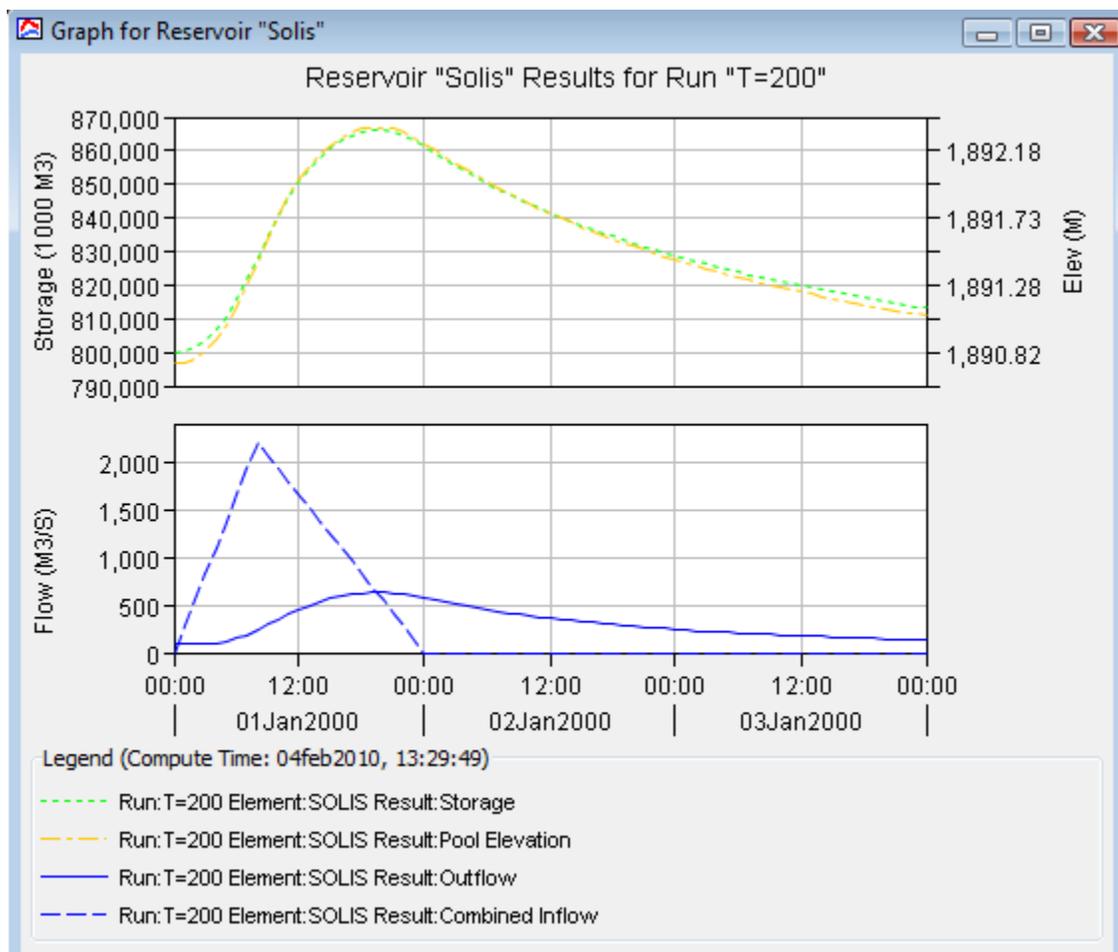


Fig. 6.28 Comportamiento de la presa Solís con hidrograma de entrada correspondiente la avenida de diseño del vertedor.

Se muestra el hidrograma obtenido a la salida del modelo:

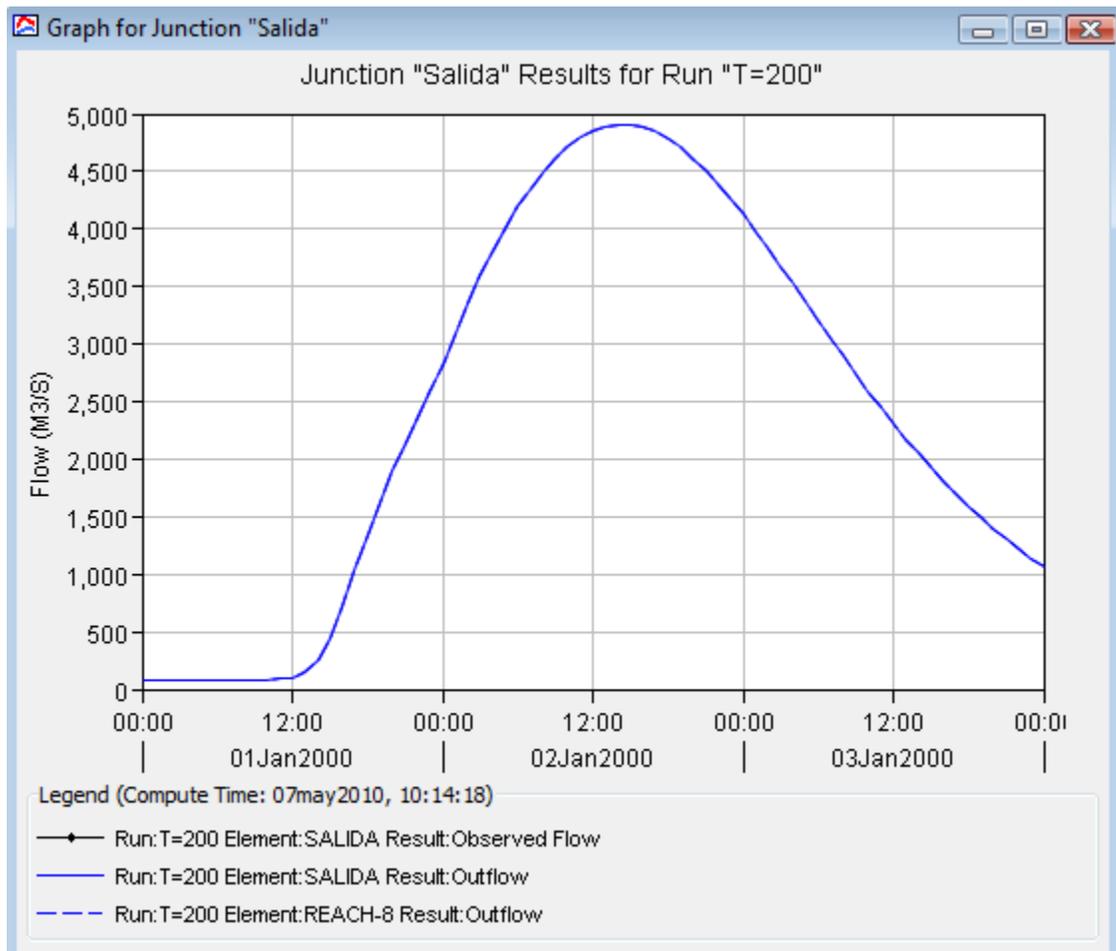


Fig. 6.29 Hidrograma simulado para T=200 a la salida de la cuenca con aportación de la presa Solís y la entrada igual a la avenida de diseño del vertedor

Así como el tiempo pico y el volumen escurrido:

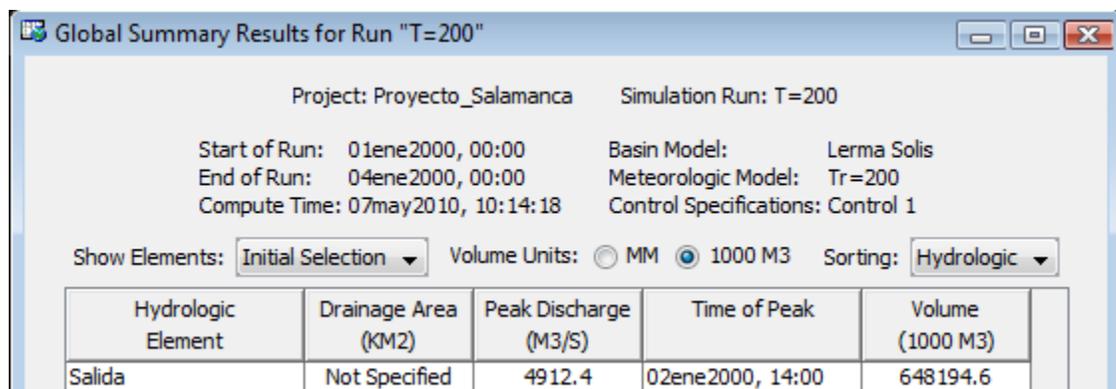


Fig. 6.30 Gasto pico simulado para T=200 a la salida de la cuenca con aportación de la presa Solís y una entrada igual a la avenida de diseño del vertedor

b) Simulación para T=1000 años

De esta forma, se simuló el evento más extremo con las mismas condiciones para la presa Solís que el caso anterior, en la siguiente figura se observa el hidrograma obtenido en la salida:

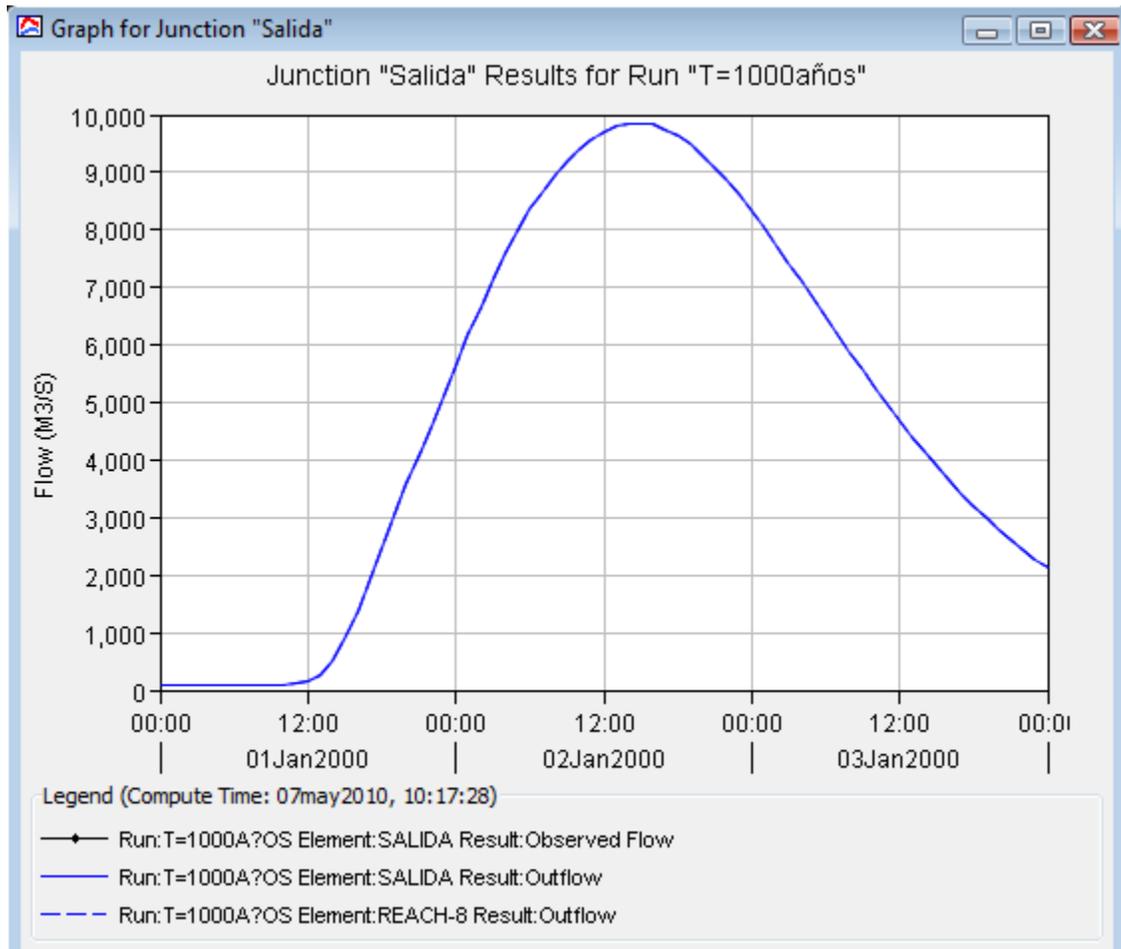


Fig. 6.31 Hidrograma simulado para T=1000 a la salida de la cuenca con aportación de la presa Solís y la entrada igual a la avenida de diseño del vertedor

Finalmente se obtuvo también el gasto pico y el volumen escurrido para este evento el cual se observa en la siguiente captura del HEC-HMS:

Project: Proyecto_Salamanca Simulation Run: T=1000 años

Start of Run: 01ene2000, 00:00 Basin Model: Lerma Solis
End of Run: 04ene2000, 00:00 Meteorologic Model: Tr=1000
Compute Time: 07may2010, 10:17:28 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Initial Selection Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Salida	Not Specified	9861.5	02ene2000, 15:00	1293804.1

Fig. 6.32 Gasto pico simulado para T=1000 a la salida de la cuenca con aportación de la presa Solís y una entrada igual a la avenida de diseño del vertedor

7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Una vez que han sido simulados diferentes eventos, se observa en los cuadros 7.1 y 7.2 un resumen donde se indica el gasto pico en cada una de las simulaciones:

Simulaciones sin aportación de la presa Solís	
T (años)	Gasto pico (m^3/s)
2	183
5	799.8
10	1431.3
50	3135.5
100	3954.3
200	4797.1
1000	9573.7

Cuadro 7.1 Resumen de los gastos picos para cada periodo de retorno sin aportación de la presa Solís

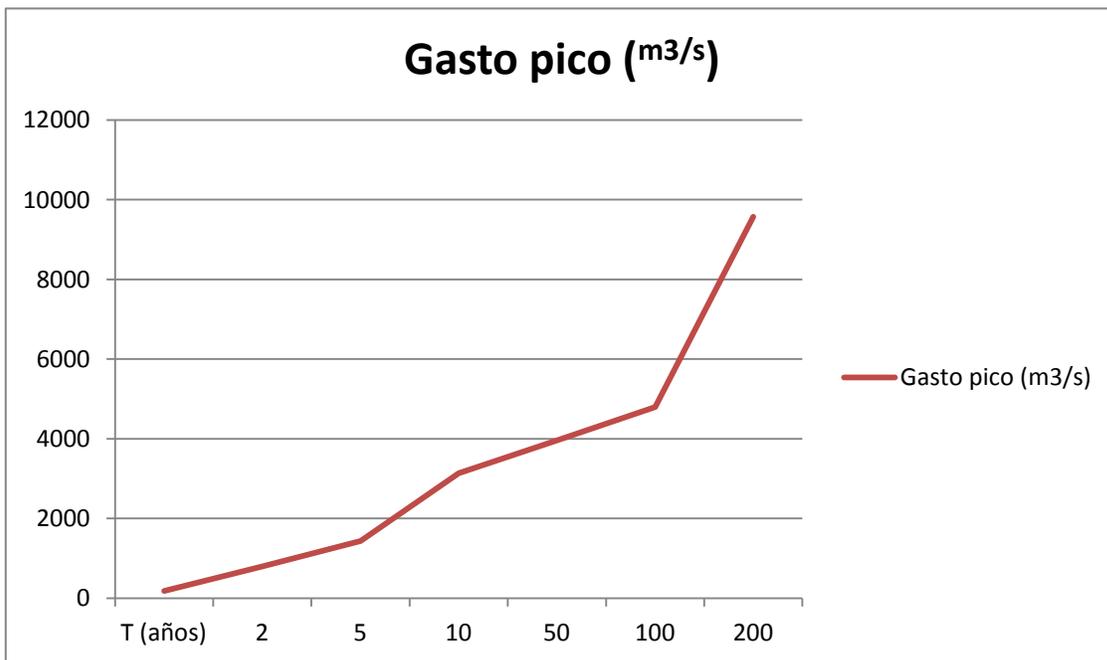


Fig. 7.1 Gráfica de gasto pico vs periodo de retorno

Simulaciones con entrada y aportación de la presa Solís		
T (años)	Gasto pico (m³/s)	Entrada a Solís (m³/s)
2	268.2	220
5	881.7	220
10	1546.9	550
50	3258.7	550
100	4135.2	1100
200	5240.8	2200
1000	10024.1	2200

Cuadro 7.2 Resumen de los gastos picos para cada periodo de retorno con entrada y aportación de la presa Solís

En los cuadros 7.3 y 7.4 se presenta un resumen del volumen escurrido para los escenarios simulados en HEC-HMS

Simulaciones sin aportación de la presa Solís	
T (años)	Volumen (1000 m³)
2	26376.3
5	110893.1
10	191943.9
50	414441
100	515742.3
200	628180
1000	1271289

Cuadro 7.3 Resumen de los volúmenes para cada periodo de sin aportación de la presa Solís

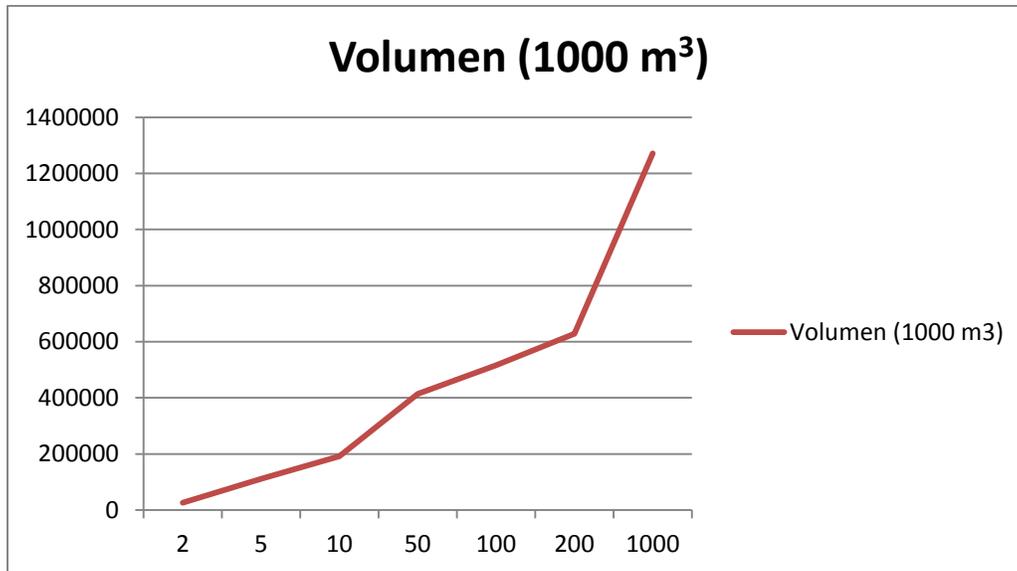


Fig. 7.2 Gráfica de volumen vs periodo de retorno

Simulaciones con entrada y aportación de la presa Solís		
T (años)	Volumen (1000 m ³)	Entrada a Solís (m ³ /s)
2	48405.2	220
5	132921.9	220
10	213972.8	550
50	434468.5	550
100	537771.1	1100
200	648194.6	2200
1000	1293804.1	2200

Cuadro 7.4 Resumen de los volúmenes para cada periodo de retorno con entrada y aportación de la presa Solís

Nos damos cuenta que en la mayoría de los casos los gastos máximos son grandes, sin embargo debemos considerar que, aunque estamos simulando lluvia para un solo día ésta sucede en toda la cuenca y que sus rangos son bastante considerables. Recordemos que la distribución de la lluvia así como su intensidad y duración tienden a variar de modo significativo dentro de la cuenca, sin embargo se ha pretendido simular la realidad lo mejor posible de acuerdo con los objetivos

de este estudio, quizás sea una forma simple pero un estudio más detallado rebasaría los objetivos planteados en esta tesis.

Se observa también que, en los hidrogramas de la salida de la cuenca existen pocas variaciones en relación al tiempo pico, parece que los hidrogramas siguen el siguiente patrón:

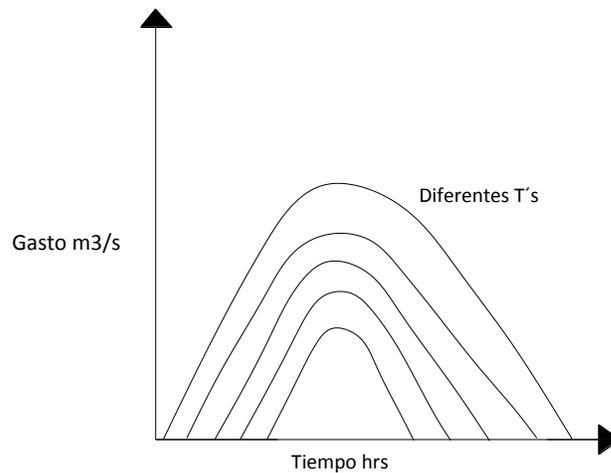


Fig. 7.3 Diagrama que muestra el comportamiento de los hidrogramas en las diferentes simulaciones

Es decir parece que los hidrogramas solo se "alargan" y tienen el mismo comportamiento, en la realidad esto no es así, ya que entre más lluvia caiga la respuesta de la cuenca es más rápida, al observar los cuadros-resumen de cada simulación, se percibe una ligera variación en los tiempos pico, esta variación debería ser más grande, recordemos que se simula lluvia uniforme sobre toda la cuenca, con esto se puede explicar la poca variación en el tiempo pico. Si lloviera solamente en una parte de la cuenca y se analizaran los datos a la salida, los tiempos pico tendrían variaciones más considerables al aumentar el periodo de retorno. Al simular lluvia uniforme proponemos que los causes subiran su nivel más o menos al mismo tiempo.

Quizás los resultados y/o la calibración requieran ser afinados tomando en cuenta otros factores si es que se considera necesario para otro tipo de estudio.

Lo que se ha pretendido con esto es realizar un estudio hidrológico preliminar de lo que sucede en la cuenca, quizás los resultados necesiten

perfeccionarse un poco más pero está claro que con esto nos damos una idea de cómo se comporta esta cuenca y sabremos con mayor certeza que parámetros debemos ajustar para obtener eventos más cercanos a la realidad.

8. CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio hidrológico preliminar para la ciudad de Salamanca, Gto. su principal propósito es conocer el comportamiento de las cuencas de aportación hasta la estación hidrométrica Salamanca, ubicada en dicha ciudad, estableciendo la base para realizar acciones cuyo fin será evitar que la ciudad se siga inundando. Así pues concluimos que:

-Salamanca se encuentra en una zona muy plana, lo que dificulta el escurrimiento del agua y facilita las anegaciones.

-Existen zonas que presentan erosión en la cuenca, los sedimentos acumulados en el cauce de los ríos y en los cuerpos de agua, pueden ser factores para que el problema se siga presentando.

-Hay muchas zonas agrícolas, y de vegetación densa, lo cual también dificulta el desalojo del agua.

-La ciudad se encuentra en los márgenes del uno de los ríos más importantes del país y con una de las cuencas más grandes.

-La lluvia se presenta con regularidad en los meses de Junio a Septiembre, con intensidades de consideración.

-Los eventos simulados reportan gran cantidad de escurrimiento, con base en lo visto en el uso de suelos y edafología esto es coherente ya que hay poca infiltración debido a los factores ya mencionados.

Es importante también notar que quizás la solución a los problemas de inundaciones urbanas no se encuentre en la cuenca de aportación solamente y sea más bien algo local. Será necesaria la revisión de los sistemas de desalojo de aguas en la ciudad, tanto el drenaje sanitario como pluvial. Algunas de las soluciones se pueden basar precisamente en este estudio y con base en esto llegar al fin común que se persigue.

9.- REFERENCIAS

- Aparicio, J. (1997). Fundamentos de hidrología de superficie. Ed. Limusa
- Atlas de Presas de México, Comisión Nacional del Agua e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Marzo, 2006
- BANDAS (1999). Banco de Datos de Aguas Superficiales. IMTA – CONAGUA
- ERIC III (2007). Extractor Rápido de Información Climatológica. IMTA.
- De Oliviera, M y M. Naghettini (2008). SEAF – A prototyp of an expert system for at-site frequency analysis of hydrological annual maxima. Avances en Recursos Hidráulicos. Número 18, Octubre 2008, Medellín Colombia.
- Ramírez A. (2001). Notas y presentaciones del curso de HEC-HMS. IMTA.
- Ramírez A. (2007). Estudio hidrológico y anteproyecto de las obras de control y escurrimientos pluviales e inundaciones para la universidad Politécnica de Morelos IMTA, 2007
- Ramírez A. (2008). Estudio hidrológico de las cuencas del río Grande, Chiquito y Queréndaro. CIAQ, UAQ.
- Sotelo G (2005). Hidráulica General. Volumen I. Ed. Limusa
- maps.google.com.mx (2010)
- proteccioncivil.guanajuato.gob.mx (2006)
- www.centrogeo.org.mx (2005)
- www.conabio.gob.mx (2008)
- www.inegi.gob.mx (2009)

ANEXO 1

ANEXO 1.- TABLAS CON LAS LLUVIAS MÁXIMAS ANUALES DE LAS ESTACIONES EN TODOS SUS AÑOS DE REGISTRO

Anotaciones: Los años con dato de lluvia igual a 0 mm corresponden a años sin registro en ERIC III.

Así mismo precipitaciones menores de 10mm en su gran mayoría indican que el año de registro tiene incompletos los datos, para cualquier duda o aclaración consulte ERIC III.

11002					
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1951	55	1970	56.6	1989	77.5
1952	55	1971	41	1990	52.7
1953	34.4	1972	47.9	1991	97.6
1954	35.3	1973	35.3	1992	71.1
1955	57.1	1974	46.2	1993	37.5
1956	37	1975	73.5	1994	54.2
1957	31.5	1976	37.5	1995	48.3
1958	68.5	1977	48	1996	46.2
1959	37.5	1978	37.3	1997	43.3
1960	34.2	1979	47.2	1998	0
1961	52.7	1980	42.6	1999	38.9
1962	30.5	1981	55.5	2000	47.9
1963	35.3	1982	37.8	2001	61.5
1964	45.2	1983	54	2002	38.5
1965	36.4	1984	47.2	2003	70
1966	42.2	1985	57.6	2004	61
1967	46.6	1986	30	2005	3
1968	32.2	1987	34.5		
1969	33.5	1988	63.4		

TABLA 1 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para la estación 11002

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11004			
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1949	29.4	1988	45.2
1950	0	1989	31.4
1951	61.3	1990	52.5
1952	50.2	1991	68.1
1953	70.5	1992	27.3
1954	54.1	1993	0
1955	62.3	1994	0
1956	70.1	1995	22
1957	56.3	1996	17
1958	46.9	1997	27
1959	63.9	1998	24
1960	70.3	1999	33
1961	49.2	2000	38
1962	44.3	2001	29
1963	44.7	2002	49
1964	43.1	2003	77
1965	53.4	2004	43
1966	42.3		
1967	53.2		
1968	46.3		
1969	35.3		
1970	42.5		
1971	48.1		
1972	55.7		
1973	42.3		
1974	46.3		
1975	48.5		
1976	66		
1977	50		
1978	67.5		
1979	49		
1980	37		
1981	33		
1982	26		
1983	60		
1984	67.2		
1985	29.3		
1986	41.3		
1987	60.5		

TABLA 2 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para la estación 11004

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11006				11007			
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1961	47.5	2000	75	1949	20	1988	60.4
1962	63	2001	57	1950	0	1989	67
1963	37.5	2002	52	1951	40.2	1990	57
1964	78	2003	65	1952	44.9	1991	17
1965	65	2004	71	1953	61.4	1992	80
1966	52			1954	49.3	1993	85
1967	44			1955	80	1994	38
1968	42			1956	112	1995	58.5
1969	65			1957	20.8	1996	66
1970	39.2			1958	40.4	1997	50
1971	42.4			1959	60	1998	48
1972	42.5			1960	56	1999	63
1973	45.5			1961	64	2000	82
1974	48.5			1962	35	2001	63
1975	60.8			1963	40	2002	49
1976	55			1964	65	2003	60
1977	40.2			1965	54	2004	73
1978	58.5			1966	53		
1979	36			1967	82		
1980	64			1968	42		
1981	44			1969	42		
1982	25.2			1970	50		
1983	34			1971	80		
1984	75.7			1972	42		
1985	43			1973	77		
1986	68			1974	43		
1987	38			1975	56		
1988	6			1976	66		
1989	10			1977	78		
1990	8.6			1978	63		
1991	50			1979	72		
1992	70			1980	63		
1993	42			1981	34		
1994	49			1982	43.5		
1995	60			1983	16.3		
1996	43			1984	35.6		
1997	35			1985	50.2		
1998	76			1986	50		
1999	78			1987	58.2		

TABLA 3 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11006 y 11007

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11008		11009					
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1965	72.5	1922	48	1961	27.5	2000	32.2
1966	28	1923	38	1962	49.5	2001	40.9
1967	93.5	1924	78.7	1963	46.3	2002	59.8
1968	50.5	1925	61.7	1964	44.5	2003	70.4
1969	62.5	1926	55	1965	37.5	2004	83.5
1970	87	1927	36	1966	79.6	2005	8.7
1971	96.5	1928	80.5	1967	49.7		
1972	55	1929	31.5	1968	40.5		
1973	73	1930	67.5	1969	35.2		
1974	132	1931	93.7	1970	58		
1975	75	1932	51.7	1971	60		
1976	52.5	1933	57.5	1972	55.5		
1977	73	1934	57.2	1973	70		
1978	47	1935	82.5	1974	34		
1979	44	1936	28.7	1975	43.5		
1980	30	1937	75	1976	66.5		
1981	16	1938	37.5	1977	58.2		
1982	39	1939	29.5	1978	69.5		
1983	25	1940	50.5	1979	79		
1984	61	1941	42.8	1980	34		
1985	66.5	1942	40.3	1981	51		
1986	63.5	1943	92.5	1982	44		
1987	47.6	1944	40	1983	52.2		
1988	75.3	1945	28.8	1984	62.8		
1989	57.9	1946	0	1985	46.3		
1990	57.3	1947	0	1986	46.3		
1991	43.5	1948	0	1987	27.7		
1992	74	1949	0	1988	59.3		
1993	52	1950	0	1989	60.7		
1994	36.6	1951	0	1990	34		
1995	43	1952	0	1991	55.3		
1996	45.5	1953	0	1992	82		
1997	47.5	1954	0	1993	47.1		
1998	56	1955	0	1994	60		
		1956	0	1995	3.8		
		1957	0	1996	55		
		1958	0	1997	41.5		
		1959	0	1998	65		
		1960	46.6	1999	29.6		

TABLA 4 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11008 y 11009

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11010				11011			
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1962	58	2001	23.5	1962	35.5	2001	39.2
1963	45	2002	33.3	1963	42	2002	59.3
1964	42	2003	55	1964	37.5	2003	55.7
1965	65	2004	35.3	1965	53.5	2004	53.8
1966	44			1966	75.5		
1967	44			1967	50.5		
1968	36			1968	69		
1969	64			1969	73.5		
1970	74			1970	72.2		
1971	45			1971	61		
1972	55.5			1972	52.5		
1973	72			1973	56.8		
1974	40			1974	65		
1975	29			1975	60.1		
1976	60			1976	51.5		
1977	41			1977	43		
1978	70			1978	48.5		
1979	60			1979	39.1		
1980	45			1980	34.3		
1981	8.5			1981	55.8		
1982	36			1982	32.5		
1983	31.5			1983	55.5		
1984	35			1984	55.1		
1985	43.7			1985	33.1		
1986	23.8			1986	60.4		
1987	32			1987	54.9		
1988	52.7			1988	52		
1989	18.4			1989	48.1		
1990	43			1990	77.2		
1991	65			1991	78.8		
1992	54			1992	45.8		
1993	0			1993	74		
1994	40			1994	46.5		
1995	19			1995	51.3		
1996	40.5			1996	68.4		
1997	40.5			1997	32.5		
1998	38			1998	50.8		
1999	0			1999	35.2		
2000	21.5			2000	54.8		

TABLA 5 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11010 y 11011

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11013				11015			
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1961	43.5	2000	0	1949	57.5	1988	26.3
1962	47.5	2001	60	1950	0	1989	32
1963	39.5	2002	51.2	1951	40.1	1990	48
1964	32.5	2003	97.9	1952	31.5	1991	36.5
1965	39	2004	47.4	1953	40.5	1992	41.2
1966	34			1954	85.5	1993	45.3
1967	86			1955	75	1994	36
1968	59.5			1956	54.2	1995	37.5
1969	28			1957	58.4	1996	44.7
1970	73.5			1958	40	1997	31.4
1971	50			1959	49.6	1998	16.5
1972	36			1960	34.5	1999	51.8
1973	65			1961	42.4	2000	39.5
1974	43.5			1962	25.5	2001	31.8
1975	55.5			1963	43.4	2002	35.5
1976	82			1964	53.9	2003	44
1977	35			1965	53.1		
1978	42.2			1966	29		
1979	51			1967	49		
1980	42.5			1968	46		
1981	41.9			1969	48.5		
1982	55.4			1970	38		
1983	50			1971	20.1		
1984	53			1972	20.2		
1985	69			1973	30		
1986	67			1974	30		
1987	40.4			1975	38.5		
1988	47.8			1976	36.5		
1989	35			1977	34.5		
1990	64			1978	33		
1991	20.5			1979	41		
1992	37.8			1980	26		
1993	31			1981	35.5		
1994	56			1982	28.5		
1995	66.2			1983	10.7		
1996	45.8			1984	32.5		
1997	60.2			1985	44.5		
1998	67.5			1986	36		
1999	13.5			1987	17.5		

TABLA 6 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11013 y 11015

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11017				11021			
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1951	55.7	1990	67.5	1962	44.5	2001	32.5
1952	99	1991	9.8	1963	59	2002	49
1953	60.5	1992	52.7	1964	50	2003	49.5
1954	20	1993	81.5	1965	70.5	2004	13
1955	18	1994	22.8	1966	48.5	2005	3.5
1956	57	1995	63.9	1967	130		
1957	26	1996	48.3	1968	56		
1958	27	1997	27.5	1969	35		
1959	52.5	1998	17.5	1970	46.5		
1960	51.6	1999	10	1971	44		
1961	56	2000	26.5	1972	61.3		
1962	62.5	2001	25.5	1973	63.5		
1963	37	2002	53.5	1974	71.5		
1964	59	2003	51.5	1975	41.4		
1965	71	2004	75	1976	64		
1966	49	2005	10.5	1977	40.2		
1967	37			1978	36.7		
1968	41			1979	62.5		
1969	29.5			1980	58.5		
1970	31			1981	46		
1971	77			1982	45		
1972	43.5			1983	43		
1973	65			1984	43		
1974	38.5			1985	42		
1975	62			1986	49		
1976	54.5			1987	12		
1977	41.5			1988	10		
1978	56.5			1989	9.5		
1979	38.7			1990	9.7		
1980	48.6			1991	54		
1981	61			1992	50.3		
1982	32.4			1993	56		
1983	38.5			1994	46.5		
1984	35.5			1995	56		
1985	47.8			1996	75.5		
1986	46.5			1997	71		
1987	42.5			1998	81		
1988	47.5			1999	48		
1989	53.6			2000	60		

TABLA 7 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11017 y 11021

11022				11026	
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1963	57	2002	40	1961	51
1964	35	2003	82.2	1962	25
1965	50	2004	51.9	1963	55
1966	56	2005	5.2	1964	45.2
1967	50.5			1965	51.1
1968	34			1966	55.4
1969	60			1967	26.5
1970	42			1968	52
1971	47			1969	23
1972	61.6			1970	47.3
1973	130			1971	74.2
1974	58			1972	32
1975	49			1973	51.5
1976	45.6			1974	49
1977	50			1975	44.5
1978	56			1976	43
1979	42			1977	8.3
1980	44			1978	29
1981	49.5			1979	40
1982	40			1980	58
1983	92			1981	52
1984	62.3			1982	37
1985	78.5			1983	35
1986	45			1984	55.5
1987	53			1985	81
1988	112.7			1986	50.2
1989	34			1987	33.7
1990	44			1988	22
1991	65			1989	67.5
1992	48			1990	44.5
1993	51			1991	58
1994	36			1992	36.5
1995	69			1993	26.5
1996	69.8			1994	37.5
1997	73.2			1995	31.7
1998	41.9			1996	33.8
1999	60			1997	39.5
2000	57			1998	33.3
2001	46			1999	17.3

TABLA 8 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11022 y 11026

11028					
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1903	56	1942	44.4	1981	35.9
1904	53.2	1943	47	1982	71.5
1905	51	1944	36.1	1983	56
1906	44.8	1945	39	1984	44.8
1907	46.3	1946	71	1985	36.2
1908	45.8	1947	75	1986	48.5
1909	40	1948	36.5	1987	56.5
1910	38.3	1949	43	1988	32
1911	54	1950	69.5	1989	59
1912	32.5	1951	60	1990	49.8
1913	0	1952	41	1991	92
1914	0	1953	58.6	1992	33.5
1915	0	1954	44.8	1993	60
1916	0	1955	67.4	1994	35
1917	0	1956	50	1995	53.5
1918	0	1957	22.7	1996	60
1919	0	1958	51.7	1997	42.5
1920	0	1959	53.8	1998	52.3
1921	0	1960	47.5	1999	37
1922	60.6	1961	27.2	2000	65.9
1923	40	1962	43.8	2001	40
1924	35.6	1963	54	2002	54
1925	200	1964	68.5	2003	50.6
1926	84.3	1965	137.8	2004	37
1927	73.7	1966	44		
1928	72.5	1967	80		
1929	59.3	1968	59.5		
1930	57.5	1969	66.4		
1931	54	1970	62.4		
1932	67.5	1971	96.7		
1933	60.8	1972	48.6		
1934	70	1973	60		
1935	52.5	1974	51.5		
1936	53	1975	71		
1937	39.4	1976	69		
1938	38.2	1977	48.2		
1939	57.6	1978	58.5		
1940	38.4	1979	34.5		
1941	47.2	1980	39.7		

TABLA 9 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para la estación 11028

11033				11041	
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1961	35	2000	21.5	1965	50
1962	98	2001	43	1966	40
1963	48.1	2002	42.5	1967	70
1964	57.3	2003	43.5	1968	58
1965	31	2004	49.5	1969	41
1966	47			1970	80
1967	51			1971	55
1968	39.7			1972	61
1969	33.9			1973	49.5
1970	91			1974	61.5
1971	50.8			1975	54.5
1972	54.8			1976	61
1973	47.1			1977	61
1974	69.1			1978	71
1975	42.6			1979	48
1976	39.5			1980	36
1977	43.7			1981	21
1978	39.6			1982	47.5
1979	33.2			1983	21
1980	30			1984	48
1981	35.1			1985	45.5
1982	30.7			1986	48
1983	13.8			1987	74
1984	37.4			1988	68
1985	29.6			1989	28.5
1986	39.6			1990	63.5
1987	56.3			1991	59.6
1988	49.4			1992	78
1989	33.2			1993	45.3
1990	53.6			1994	51.3
1991	48			1995	61
1992	42.5			1996	30
1993	45.5			1997	80
1994	33.5			1998	35
1995	43.5			1999	39
1996	99			2000	41
1997	41.5			2001	68
1998	62			2002	42
1999	43.5			2003	56

TABLA 10 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11033 y 11041

11042		11043		11044	
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1962	82	1949	51	1964	39.5
1963	38	1950	2.9	1965	50
1964	61	1951	42	1966	40.5
1965	33.5	1952	31.6	1967	82
1966	40	1953	57.5	1968	27
1967	59	1954	33.2	1969	42
1968	33	1955	43.2	1970	82
1969	65	1956	54.5	1971	46
1970	54	1957	51.5	1972	50.3
1971	55	1958	66.5	1973	66.5
1972	35	1959	33.2	1974	62.5
1973	52	1960	21	1975	63
1974	30	1961	58.4	1976	41.5
1975	36.5	1962	27.5	1977	54.5
1976	49.5	1963	54.5	1978	58
1977	32	1964	34	1979	29.6
1978	36	1965	37	1980	41.4
1979	32.2	1966	53	1981	37.5
1980	27	1967	46.5	1982	58.2
1981	25.5	1968	32	1983	48.5
1982	34	1969	33	1984	47.3
1983	55.1	1970	56	1985	50.3
1984	36.6	1971	56	1986	43.3
1985	44.9	1972	34.5	1987	40.6
1986	42.5	1973	48	1988	60.9
1987	97	1974	26.3	1989	38
1988	40	1975	33.5	1990	84
1989	50	1976	33.5	1991	57.6
1990	52	1977	53.5	1992	60.2
1991	55.6	1978	53.5	1993	60.5
1992	60	1979	55	1994	26
1993	55	1980	29.5	1995	65.5
1994	76	1981	10.8	1996	48.2
1995	32	1982	29.5	1997	40.3
1996	75	1983	31.5	1998	43
1997	32	1984	36.7	1999	0
1998	46	1985	34.7	2000	15.3
1999	25	1986	30.5	2001	20
2000	32.5	1987	30	2002	40.3
2001	60	1988	25.7	2003	0
2002	43	1989	45.6	2004	30
2003	31	1990	0		
		1991	12		

TABLA 11 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11042, 11043 y 11044

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11045				11047			
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1947	41.5	1990	50.6	1922	45	1965	62
1948	54.6	1991	45.1	1923	62.5	1966	66
1949	56.7	1992	0	1924	70.7	1967	40
1950	0	1993	0	1925	68.2	1968	12
1951	36.2	1994	0	1926	62.5	1969	60
1952	61.4	1995	0	1927	46.7	1970	34.2
1953	46.8	1996	0	1928	32.5	1971	62.7
1954	56.2	1997	43	1929	36.2	1972	54.3
1955	85.3	1998	78	1930	72.5	1973	75.8
1956	51.3	1999	42	1931	0	1974	42
1957	62.4	2000	42	1932	0	1975	63.4
1958	62.6	2001	65	1933	0	1976	69.5
1959	46.3	2002	75	1934	0	1977	60.9
1960	45.2	2003	43	1935	0	1978	86.5
1961	78.6	2004	53	1936	0	1979	40
1962	32.8			1937	0	1980	38
1963	32.9			1938	0	1981	99
1964	38.4			1939	0	1982	38
1965	40.8			1940	0	1983	78.2
1966	77.8			1941	10.5	1984	58
1967	62			1942	43	1985	45.4
1968	49.5			1943	46.5	1986	8.9
1969	34			1944	63.5	1987	36.5
1970	38			1945	27.5	1988	70.5
1971	76			1946	0	1989	29.4
1972	48			1947	0	1990	35
1973	74			1948	0	1991	0
1974	38			1949	0	1992	0
1975	55			1950	0	1993	0
1976	63			1951	0	1994	0
1977	78			1952	0	1995	0
1978	41			1953	0	1996	0
1979	32			1954	0	1997	0
1980	36			1955	0	1998	0
1981	61			1956	0	1999	0
1982	46			1957	0	2000	0
1983	38			1958	0	2001	15
1984	45			1959	0	2002	98
1985	33.5			1960	0	2003	85
1986	43.3			1961	0	2004	62.3
1987	60			1962	35	2005	30
1988	50.3			1963	26		
1989	45			1964	45		

TABLA 12 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11045 y 11047

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11048		11049		11051	
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1963	48	1962	76	1961	41.8
1964	59	1963	37	1962	37.4
1965	36	1964	71.5	1963	27.2
1966	40	1965	46	1964	37.2
1967	40.3	1966	43.5	1965	71.5
1968	47.5	1967	58	1966	33
1969	44.5	1968	36	1967	75
1970	48.5	1969	3.5	1968	32
1971	57	1970	58	1969	47
1972	59	1971	56	1970	75
1973	64.5	1972	34.5	1971	56.8
1974	61	1973	56	1972	49.6
1975	57.5	1974	75	1973	55.1
1976	49	1975	61.5	1974	50
1977	35.5	1976	63.5	1975	48
1978	51.5	1977	43.6	1976	54.2
1979	28	1978	41	1977	37
1980	39.5	1979	28.3	1978	41.5
1981	60	1980	44.2	1979	48
1982	62	1981	60	1980	29.5
1983	50.5	1982	30	1981	34
1984	30.7	1983	47.7	1982	51.5
1985	55	1984	54	1983	40
1986	40	1985	48.7	1984	46
1987	44.5	1986	46	1985	53
1988	34.1	1987	64.3	1986	60.5
1989	36	1988	45	1987	77.5
1990	77.3	1989	54.2	1988	41.5
1991	65	1990	59.3	1989	48
1992	56	1991	64	1990	75.2
1993	47	1992	62.8	1991	47.6
1994	37	1993	78	1992	69
1995	72	1994	59.3	1993	41
1996	47	1995	42	1994	54.8
1997	55	1996	39.5	1995	55.8
1998	50	1997	52	1996	39.2
1999	64	1998	48.7	1997	27
2000	43	1999	27.5	1998	49.5
2001	0	2000	35.5	1999	52.8
2002	25	2001	60	2000	32.5
2003	96	2002	45	2001	19.5
2004	84	2003	89.1	2002	77.8
		2004	50.2	2003	51
		2005	28	2004	46.2

TABLA 13 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11048, 11049 y 11051

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11052				11053			
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1937	6.5	1979	29	1949	61.5	1991	45
1938	44.7	1980	78	1950	40.5	1992	30.5
1939	56	1981	38.5	1951	41.5	1993	0
1940	48	1982	40	1952	45.5	1994	0
1941	58.2	1983	51.2	1953	47.5	1995	21.5
1942	59	1984	42.7	1954	25.5	1996	48.4
1943	73.5	1985	52.5	1955	65	1997	37
1944	12	1986	62.5	1956	47.5	1998	36.5
1945	2.9	1987	26.5	1957	63	1999	87.5
1946	38	1988	49.6	1958	38	2000	33
1947	34	1989	41	1959	38	2001	36.5
1948	43	1990	52.5	1960	40	2002	42
1949	42	1991	50	1961	38	2003	48
1950	0	1992	60	1962	32	2004	32
1951	47.5	1993	34.5	1963	34	2005	6
1952	51.5	1994	34.5	1964	71		
1953	40.5	1995	47.5	1965	35		
1954	68	1996	46.5	1966	45.8		
1955	63.5	1997	33	1967	42		
1956	26.5	1998	37	1968	40.3		
1957	55	1999	47	1969	35		
1958	42	2000	36	1970	74		
1959	51.8	2001	54.2	1971	83		
1960	60	2002	42	1972	40		
1961	30	2003	66	1973	55		
1962	55	2004	36.3	1974	16		
1963	34.5	2005	10.2	1975	29.5		
1964	37			1976	52.5		
1965	45			1977	33		
1966	48			1978	72		
1967	40			1979	46.5		
1968	76			1980	42		
1969	40.5			1981	46.8		
1970	42.7			1982	41		
1971	70			1983	59.2		
1972	125			1984	35.5		
1973	65.3			1985	35.5		
1974	58.8			1986	42.5		
1975	48.6			1987	80		
1976	59.5			1988	65.1		
1977	50.2			1989	33.4		
1978	51			1990	28.9		

TABLA 14 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11052 y 11053

11054		11056		11057	
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1963	39	1969	30.2	1941	42.5
1964	49.5	1970	39.2	1942	0
1965	60	1971	50.8	1943	0
1966	52.5	1972	56.1	1944	104
1967	70	1973	76	1945	28
1968	47	1974	66.5	1946	62
1969	66	1975	64	1947	50
1970	60	1976	78.2	1948	46
1971	46	1977	34.5	1949	39.4
1972	44	1978	58.5	1950	30.5
1973	90	1979	60	1951	54
1974	32	1980	42.5	1952	43
1975	40	1981	46.5	1953	34.1
1976	45	1982	70	1954	61
1977	40	1983	68.5	1955	47
1978	47	1984	57.8	1956	68
1979	42	1985	42	1957	31
1980	38.5	1986	53	1958	29
1981	100.6	1987	25.8	1959	20.9
1982	38	1988	46	1960	44
1983	45.5	1989	50	1961	0
1984	37.5	1990	48	1962	40
1985	47	1991	0	1963	45
1986	58.8	1992	0	1964	63.5
1987	45.8	1993	0	1965	35.5
1988	66	1994	37.5	1966	54
1989	37.3	1995	50	1967	14
1990	0	1996	70.5	1968	41
1991	0	1997	38.1	1969	0
1992	0	1998	95	1970	50
1993	0	1999	98	1971	43
1994	0	2000	92	1972	35.5
1995	20	2001	78	1973	0
1996	50	2002	69	1974	90
1997	36	2003	80	1975	65
1998	52	2004	54		
1999	44				
2000	35				
2001	43				
2002	26.4				

TABLA 15 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11054, 11056 y 11057

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11060				11061		11063	
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1937	46.2	1977	48.7	1964	60	1965	40
1938	0	1978	61.5	1965	60	1966	17
1939	0	1979	55.5	1966	50	1967	59
1940	40	1980	47.5	1967	50	1968	72
1941	94.3	1981	31.5	1968	50	1969	69
1942	48.2	1982	57.6	1969	74	1970	44
1943	100.3	1983	25	1970	40	1971	45
1944	43	1984	56	1971	92	1972	91
1945	43.5	1985	34.5	1972	46	1973	56
1946	63.6	1986	45.6	1973	50	1974	48
1947	52	1987	52	1974	69	1975	49
1948	0	1988	36.5	1975	85.5	1976	53
1949	0	1989	36.9	1976	60	1977	40.2
1950	1	1990	37.8	1977	45	1978	43
1951	53	1991	36.1	1978	58	1979	34
1952	63	1992	34.4	1979	30	1980	58
1953	56.2	1993	49.3	1980	53.4	1981	72.5
1954	50.1	1994	42.4	1981	45	1982	32
1955	67.7	1995	53.9	1982	40	1983	32.7
1956	55.5	1996	55.2	1983	62.2	1984	39.5
1957	34.5	1997	39.6	1984	53.5	1985	41.8
1958	35.4	1998	74.7	1985	45	1986	64.7
1959	40.7	1999	59.1	1986	47	1987	35.2
1960	59.5	2000	44.9	1987	50.2	1988	28.6
1961	50.1	2001	48.2	1988	60	1989	29
1962	50.5	2002	69.5	1989	43.1	1990	53
1963	33.3	2003	73.2	1990	60	1991	37
1964	62.3	2004	48.2	1991	40	1992	24
1965	64.3			1992	40	1993	20
1966	47			1993	0	1994	25.3
1967	49.6			1994	0	1995	30.5
1968	49			1995	0	1996	21.2
1969	45.6			1996	30	1997	20.5
1970	50.3			1997	12	1998	20.6
1971	44			1998	25	1999	43
1972	41.2			1999	13.6	2000	15.8
1973	55.3			2000	25	2001	12.5
1974	51			2001	16	2002	19.5
1975	64			2002	40	2003	37
1976	33			2003	47		

TABLA 16 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11060, 11061 y 11063

11064					
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1902	47.5	1942	15.5	1982	56.5
1903	41.1	1943	18	1983	30.5
1904	55	1944	14.5	1984	38
1905	50	1945	12	1985	58
1906	41.8	1946	9.5	1986	53
1907	50	1947	32	1987	28.5
1908	30	1948	36	1988	46
1909	31.3	1949	29.5	1989	0
1910	75.3	1950	50.5	1990	36.7
1911	40	1951	35	1991	58
1912	37.3	1952	30	1992	32.3
1913	75.5	1953	57	1993	26.5
1914	9	1954	42	1994	37.5
1915	0	1955	38	1995	31.7
1916	0	1956	32	1996	33.8
1917	0	1957	126	1997	39.5
1918	0	1958	70	1998	55
1919	0	1959	37		
1920	0	1960	60		
1921	0	1961	66		
1922	0	1962	23.6		
1923	0	1963	45.8		
1924	41.1	1964	44.5		
1925	34.3	1965	68.9		
1926	48	1966	33.5		
1927	28.6	1967	31.5		
1928	50.5	1968	75		
1929	0	1969	31.5		
1930	0	1970	37.7		
1931	21.6	1971	52.5		
1932	22.3	1972	29		
1933	42	1973	51		
1934	38	1974	48.5		
1935	42	1975	40		
1936	30.8	1976	70		
1937	28	1977	33.6		
1938	15	1978	52.5		
1939	5.5	1979	37.5		
1940	7.5	1980	30		
1941	23	1981	50		

TABLA 17 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para la estación 11064

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11065				11066			
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1922	44.7	1963	45	1952	40	1993	35.5
1923	46.2	1964	42	1953	36	1994	59
1924	40	1965	30	1954	29.5	1995	39.5
1925	47.5	1966	44	1955	50	1996	47.5
1926	52.5	1967	53	1956	67	1997	35
1927	35	1968	50	1957	30	1998	48
1928	43	1969	30	1958	40	1999	55
1929	45	1970	52	1959	56.5	2000	17
1930	51.5	1971	60.9	1960	43	2001	60
1931	35	1972	65.5	1961	43	2002	31
1932	51.5	1973	29	1962	45.5	2003	50
1933	30	1974	29	1963	58		
1934	29.5	1975	42	1964	62		
1935	29	1976	66.2	1965	40		
1936	0	1977	40	1966	56		
1937	0	1978	55.7	1967	65		
1938	0	1979	38.5	1968	45		
1939	0	1980	181.4	1969	58		
1940	0	1981	42.4	1970	56.5		
1941	0	1982	41.6	1971	47.5		
1942	0	1983	41.6	1972	53.5		
1943	0	1984	58.7	1973	70		
1944	0	1985	36.2	1974	28.5		
1945	0	1986	63.7	1975	50.5		
1946	0	1987	47.1	1976	35		
1947	0	1988	43.4	1977	80.5		
1948	0	1989	33.8	1978	54		
1949	37	1990	37.4	1979	33.2		
1950	0	1991	71.6	1980	48.3		
1951	29.6	1992	36.8	1981	51.9		
1952	42.6	1993	73.6	1982	22.8		
1953	60	1994	42	1983	31.1		
1954	36	1995	0	1984	39.7		
1955	45	1996	26.3	1985	35.5		
1956	43	1997	40	1986	29.3		
1957	55	1998	0	1987	34.8		
1958	40	1999	10	1988	35.6		
1959	48	2000	0	1989	25.7		
1960	39.5	2001	3.5	1990	36.7		
1961	55.2	2002	53	1991	58		
1962	38.5	2003	45	1992	32.3		

TABLA 18 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11065 y 11066

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11067				11068			
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1924	37.7	1964	35.5	1924	29.9	1964	40.1
1925	42	1965	52	1925	44.5	1965	33.5
1926	41.5	1966	42	1926	32	1966	32.5
1927	56.4	1967	70	1927	35	1967	6.3
1928	42.3	1968	81	1928	0	1968	43
1929	37.3	1969	2.5	1929	32	1969	0
1930	40.1	1970	90	1930	26	1970	32
1931	33.6	1971	60	1931	23	1971	23
1932	50.9	1972	49.5	1932	78.5	1972	17
1933	38.4	1973	105	1933	31.5	1973	14
1934	64.4	1974	62.7	1934	32	1974	36
1935	55.5	1975	55	1935	31	1975	32
1936	98	1976	47.8	1936	28	1976	60
1937	37.8	1977	44	1937	16	1977	94.9
1938	18.2	1978	55	1938	3	1978	60
1939	14.8	1979	36.5	1939	0	1979	64
1940	19.6	1980	35.3	1940	20	1980	71
1941	44.4	1981	26.5	1941	35.5	1981	30.6
1942	52.4	1982	33.8	1942	98	1982	45
1943	48	1983	23.4	1943	32	1983	24
1944	88.5	1984	69.7	1944	27	1984	37
1945	45	1985	28.4	1945	0	1985	38.3
1946	55	1986	72.8	1946	47	1986	33
1947	54	1987	32.9	1947	29.4	1987	56.5
1948	46.5	1988	27.3	1948	47	1988	0.6
1949	18	1989	23.8	1949	47.5	1989	0
1950	32.5			1950	16.5	1990	0
1951	26			1951	20.2	1991	0
1952	42			1952	0	1992	46.5
1953	32			1953	0	1993	86
1954	45			1954	18.6	1994	43
1955	46			1955	79.5	1995	69
1956	25			1956	74.9	1996	40
1957	35.5			1957	74.2	1997	48
1958	50			1958	42.3	1998	83
1959	46			1959	31.8	1999	47
1960	22.5			1960	20.7	2000	29
1961	40			1961	44.1	2001	41
1962	30			1962	25.5	2002	50.5
1963	45			1963	52.5		

TABLA 19 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11067 y 11068

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11070				11071			
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1954	46.1	1994	53.5	1939	0.6	1979	46.4
1955	50.5	1995	69.5	1940	32.2	1980	41.4
1956	41.1	1996	43.2	1941	37.8	1981	17.2
1957	54	1997	43.4	1942	40.1	1982	102.5
1958	91.8	1998	74.2	1943	28	1983	26.8
1959	52.7	1999	56	1944	42.5	1984	58.8
1960	23	2000	51.2	1945	70	1985	33.9
1961	41.2	2001	84.3	1946	62.5	1986	68.3
1962	66.3	2002	51.1	1947	44.8	1987	30.8
1963	26	2003	82.6	1948	40.9	1988	56.4
1964	39			1949	80	1989	43.7
1965	46.7			1950	0	1990	68.9
1966	45			1951	81.1	1991	58.2
1967	58.8			1952	48.2	1992	47
1968	63.8			1953	42.5	1993	49.2
1969	48.2			1954	36.3	1994	71
1970	52.5			1955	82.8	1995	42.3
1971	44.1			1956	0	1996	34.1
1972	42.5			1957	0	1997	39.1
1973	64.3			1958	0	1998	64
1974	87.4			1959	0	1999	37
1975	49.8			1960	0	2000	25.5
1976	59			1961	51.4	2001	43.5
1977	62.4			1962	114.2	2002	45
1978	40			1963	52.3	2003	35.5
1979	61.2			1964	51.1	2004	29.5
1980	53.8			1965	46.2		
1981	17.5			1966	48.3		
1982	48.8			1967	61.9		
1983	25.7			1968	59.9		
1984	58			1969	42.5		
1985	79			1970	45.3		
1986	45.3			1971	64.9		
1987	34.3			1972	36.9		
1988	60.6			1973	84.9		
1989	61.6			1974	50.6		
1990	63			1975	58.2		
1991	72.5			1976	68.2		
1992	49.8			1977	44.1		
1993	92.9			1978	53.2		

TABLA 20 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11070 y 11071

11072		11076		11078	
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1961	42	1961	39	1966	50
1962	37.5	1962	36.7	1967	53.5
1963	29.2	1963	30	1968	42
1964	49	1964	39.3	1969	37.2
1965	52.8	1965	56.5	1970	32
1966	37	1966	50.7	1971	62
1967	81.8	1967	60	1972	35
1968	48.5	1968	46.8	1973	53
1969	39	1969	30.8	1974	45
1970	45.5	1970	59	1975	50
1971	52	1971	53.5	1976	57.5
1972	52.2	1972	43	1977	40.3
1973	53.8	1973	50	1978	36
1974	77	1974	31	1979	38
1975	62.8	1975	33	1980	39
1976	125.3	1976	40.2	1981	24
1977	46.5	1977	44	1982	40
1978	64	1978	44.5	1983	23.5
1979	51.7	1979	38.6	1984	64
1980	36.9	1980	39.2	1985	67.5
1981	30.5	1981	33	1986	42.4
1982	47.5	1982	37.3	1987	44.5
1983	26	1983	46.6	1988	58
1984	45.5	1984	35.5	1989	72.4
1985	66.6	1985	36	1990	67.5
1986	65.3	1986	40.2	1991	63.5
1987	48	1987	9.1	1992	72.5
1988	41.8	1988	9.3	1993	86.6
1989	41.5	1989	9.2	1994	30.5
1990	18.9	1990	35.8	1995	55.4
1991	51.7	1991	80.5	1996	1.8
1992	66.1	1992	68.2	1997	34
1993	47.9	1993	33.5	1998	63
1994	43	1994	48.7	1999	92
1995	78	1995	53	2000	36
1996	40.9	1996	63.4	2001	39.5
1997	58.4	1997	44.3	2002	59
1998	74.5	1998	62.8	2003	45
1999	39.7	1999	51.4		
2000	36.5	2000	36		
2001	56.1	2001	36.5		
2002	54.3	2002	54.7		
2003	64.3	2003	52.2		
2004	46.7	2004	48.2		

TABLA 21 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11072, 11076 y 11078

11079				11080	
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1922	22.9	1963	37.5	1953	37.7
1923	38	1964	43	1954	77.3
1924	34	1965	49	1955	85
1925	89	1966	52.5	1956	45
1926	24.7	1967	54.5	1957	58.4
1927	25.5	1968	45	1958	45
1928	24.7	1969	59	1959	86.7
1929	24.7	1970	107	1960	34.5
1930	24.7	1971	31.8	1961	42.4
1931	0	1972	65.3	1962	25.5
1932	0	1973	69.6	1963	88.3
1933	0	1974	47.6	1964	53.9
1934	0	1975	54.6	1965	53.1
1935	0	1976	46.4	1966	29
1936	0	1977	59.6	1967	49
1937	0	1978	40	1968	46
1938	0	1979	63.8	1969	48.5
1939	0	1980	34.2	1970	116.5
1940	0	1981	42	1971	102.5
1941	8	1982	42	1972	75
1942	41	1983	29	1973	30
1943	55.5	1984	82.5	1974	30
1944	10	1985	45	1975	38.5
1945	30	1986	54	1976	36.5
1946	35	1987	46.3	1977	34.5
1947	33	1988	19.5	1978	33
1948	71.5	1989	12.4	1979	41
1949	44	1990	0	1980	28
1950	44	1991	59.5	1981	43.3
1951	56	1992	66	1982	35.5
1952	55	1993	78.8	1983	280
1953	69	1994	28.3	1984	68
1954	51.2	1995	80	1985	44.5
1955	54.5	1996	36.8	1986	36
1956	37	1997	36	1987	23
1957	82	1998	65	1988	33.5
1958	42.5	1999	35	1989	34.5
1959	49	2000	48	1990	63
1960	44.5	2001	43		
1961	33	2002	48		
1962	50.5	2003	53.5		

TABLA 22 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11079 y 11080

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11082				11084			
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1949	52.5	1990	49	1947	53.3	1988	59.3
1950	0	1991	50.5	1948	43.2	1989	60.7
1951	37.5	1992	58.5	1949	51.8	1990	34
1952	35	1993	5.8	1950	0	1991	55.3
1953	52.5	1994	0	1951	61.1	1992	82
1954	46	1995	38.5	1952	99.5	1993	47.1
1955	96.5	1996	51.5	1953	52.5	1994	60
1956	66.8	1997	55.5	1954	47.2	1995	3.8
1957	60	1998	76	1955	50.4	1996	55
1958	57	1999	85.5	1956	94.1	1997	41.5
1959	59	2000	25	1957	40.2	1998	65
1960	63.3	2001	91	1958	34.2	1999	29.6
1961	43	2002	31	1959	46.1	2000	32.2
1962	33.5	2003	73.5	1960	56.6	2001	40.9
1963	33	2004	32	1961	76.5	2002	59.8
1964	45			1962	41.8	2003	70.4
1965	64.5			1963	34.5		
1966	44			1964	62.7		
1967	54			1965	44.3		
1968	35			1966	53.5		
1969	50.5			1967	55.2		
1970	64			1968	0		
1971	54			1969	48.8		
1972	45			1970	61.2		
1973	48			1971	0		
1974	37			1972	45.2		
1975	57			1973	9.8		
1976	51.5			1974	34		
1977	45.5			1975	43.5		
1978	55			1976	66.5		
1979	37			1977	58.2		
1980	51			1978	69.5		
1981	54			1979	79		
1982	36			1980	34		
1983	35.2			1981	51		
1984	28			1982	44		
1985	37.2			1983	52.2		
1986	97.5			1984	62.8		
1987	30.5			1985	46.3		
1988	44			1986	46.3		
1989	29.5			1987	27.7		

TABLA 23 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11082 y 11084

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11085		11088		11094	
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1972	57	1949	43.7	1990	36.7
1973	85.5	1950	0	1991	58
1974	57	1951	67.5	1992	32.3
1975	60	1952	30	1993	35.5
1976	71	1953	80.5	1994	59
1977	52.3	1954	25.5	1995	39.5
1978	57	1955	67.5	1996	47.5
1979	60.5	1956	73	1997	35
1980	50	1957	68.5	1998	48
1981	40	1958	50	1999	55
1982	41.5	1959	79	2000	17
1983	16.5	1960	39	2001	60
1984	48.5	1961	47	2002	31
1985	64	1962	39		
1986	49	1963	68		
1987	46.1	1964	66		
1988	60.2	1965	43.5		
1989	49.3	1966	46.5		
1990	96	1967	55.5		
1991	0	1968	43.3		
1992	0	1969	47.8		
1993	43	1970	63.1		
1994	32	1971	47.5		
1995	65.5	1972	53.5		
1996	53.5	1973	70		
1997	80.5	1974	28.5		
1998	40	1975	50.5		
1999	30	1976	35		
2000	40	1977	80.5		
2001	42.1	1978	54		
2002	45	1979	33.2		
2003	45	1980	48.3		
		1981	51.9		
		1982	22.8		
		1983	31.1		
		1984	39.7		
		1985	35.5		
		1986	29.3		
		1987	34.8		
		1988	35.6		
		1989	25.7		

TABLA 24 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11085, 11088 y 11094

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11096				11105		11107	
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1941	96	1982	46	1974	76.9	1974	20
1942	43.3	1983	16.9	1975	36.5	1975	63.5
1943	49.4	1984	53.5	1976	58	1976	54
1944	62.5	1985	62.5	1977	80	1977	34.5
1945	37	1986	88.5	1978	83	1978	65
1946	78	1987	94.2	1979	53	1979	42
1947	44	1988	77.5	1980	30	1980	19
1948	33.5	1989	66.5	1981	19	1981	17.5
1949	45	1990	60.2	1982	35	1982	50
1950	0	1991	62.8	1983	30	1983	20
1951	45.6	1992	51.2	1984	0	1984	50.6
1952	72.5	1993	32.5	1985	0	1985	40.5
1953	56	1994	42.3	1986	51.5	1986	35
1954	95.4	1995	65.5	1987	36.8	1987	39
1955	68	1996	47.3	1988	60.5	1988	60
1956	59	1997	48.5	1989	30.3	1989	29.3
1957	72.5	1998	48.3	1990	31.3	1990	42.5
1958	44	1999	52.5	1991	58	1991	56
1959	48	2000	70.5	1992	95	1992	48
1960	49.7	2001	38.5	1993	25.5	1993	65.4
1961	36.5	2002	34.3	1994	52	1994	45
1962	62.2	2003	57.5	1995	33.5	1995	50
1963	67	2004	46.2	1996	56.2	1996	22.6
1964	35			1997	32.5	1997	40
1965	35.7			1998	57.5	1998	47
1966	60			1999	41.6	1999	30
1967	50.8			2000	39	2000	25.5
1968	52.2			2001	71.7	2001	40
1969	37.5			2002	42.5	2002	90.5
1970	54			2003	77.6	2003	25
1971	49			2004	63.5	2004	71
1972	84.7			2005	7.7		
1973	46.6						
1974	81.2						
1975	60						
1976	50.2						
1977	58.2						
1978	46.6						
1979	40.9						
1980	31.7						
1981	14						

TABLA 25 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11096, 11105 y 11107

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

11118		11122		16027			
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1975	10.5	1976	90.2	1923	153	1964	38.6
1976	69.4	1977	45.1	1924	40.5	1965	45.6
1977	40.3	1978	48.4	1925	42.2	1966	43.4
1978	58.2	1979	33.4	1926	48	1967	54.7
1979	75	1980	34.2	1927	26.7	1968	30.4
1980	31.8	1981	44.5	1928	54.3	1969	46.3
1981	26.3	1982	65.2	1929	29.2	1970	38.8
1982	43.1	1983	49.2	1930	30.4	1971	28.5
1983	57.3	1984	31.2	1931	60	1972	29.4
1984	41.5	1985	38.5	1932	35.2	1973	32.5
1985	44.8	1986	31.5	1933	69.8	1974	41.3
1986	47	1987	48.6	1934	83.2	1975	31.2
1987	61.4	1988	58.3	1935	71.3	1976	36.7
1988	67.3	1989	40.8	1936	40.9	1977	31.2
1989	42.6	1990	45.2	1937	64.7	1978	42.3
1990	46.3	1991	49.3	1938	28.3	1979	36.4
1991	58	1992	64.2	1939	9.8	1980	51.4
1992	44.2	1993	51.3	1940	29.9	1981	34.3
1993	45.5	1994	61	1941	20.8	1982	25.2
1994	33.5	1995	36.3	1942	19.5	1983	46.3
1995	68.4	1996	54	1943	20.7	1984	42.3
1996	0	1997	30	1944	20.8	1985	43
1997	76.2	1998	46	1945	20.7	1986	43
1998	71	1999	48	1946	20.4	1987	39
1999	47.8	2000	53	1947	20.2	1988	44
2000	54.2	2001	44	1948	22.3	1989	33.5
2001	33.4	2002	38	1949	25.3	1990	43.5
2002	110.3	2003	40	1950	28.2	1991	43.5
2003	36	2004	73.5	1951	26.9	1992	57
2004	13	2005	7	1952	33.3	1993	50.1
				1953	34.8	1994	60.1
				1954	29.2	1995	33.1
				1955	26.4	1996	25.5
				1956	26.5	1997	22
				1957	25.7	1998	46.5
				1958	54	1999	47.5
				1959	35.2	2000	0
				1960	32.5	2001	47
				1961	32.8	2002	40
				1962	23.3	2003	0.7
				1963	40.5		

TABLA 26 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 11118, 11122 y 16027

Análisis hidrológico de las cuencas de aportación a la zona urbana de Salamanca, Gto.

16052		22004		22006			
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1941	38.5	1983	44.5	1965	76	1961	54.5
1942	27	1984	50	1966	45	1962	59.4
1943	49.5	1985	40.5	1967	49.5	1963	71.4
1944	37.9	1986	43	1968	64.1	1964	75.4
1945	32	1987	40.5	1969	65.7	1965	76.4
1946	38.3	1988	41	1970	46.4	1966	57
1947	34	1989	38	1971	46	1967	49.5
1948	50.4	1990	29	1972	44.2	1968	59.1
1949	30.2	1991	63	1973	61.7	1969	48.5
1950	32.3	1992	55.5	1974	56.4	1970	53
1951	30.5	1993	56.5	1975	33.8	1971	84
1952	27	1994	31.5	1976	54.6	1972	54.6
1953	48.8	1995	65	1977	37	1973	62
1954	45.2	1996	27	1978	26	1974	51
1955	48.6	1997	40	1979	57.4	1975	29.3
1956	48.6	1998	60.5	1980	32.4	1976	75.5
1957	44.5	1999	40	1981	27.2	1977	45.6
1958	50.1	2000	35	1982	33.2	1978	43.5
1959	50.1	2001	41.8	1983	19.3	1979	61.6
1960	45.2	2002	46	1984	70.5	1980	48.9
1961	40	2003	40	1985	60.8	1981	32
1962	32.2	2004	66	1986	64.8	1982	32.7
1963	33			1987	46.2	1983	19.5
1964	35.3			1988	46.5	1984	37.3
1965	40.8			1989	90.6	1985	36
1966	35.8			1990	54.5	1986	47.5
1967	42.6			1991	74.3	1987	40.7
1968	24.4			1992	66.4	1988	39.2
1969	30			1993	61.2	1989	57
1970	31.6			1994	37.5	1990	32.3
1971	30.6			1995	60.3	1991	40.6
1972	40.5			1996	58.8	1992	40.9
1973	34			1997	34.8	1993	46.7
1974	33.5			1998	61.5	1994	44.5
1975	32.6			1999	36.3	1995	55.8
1976	35.5			2000	0	1996	53.4
1977	32.8			2001	0	1997	23.3
1978	40.6			2002	53.6	1998	60
1979	30			2003	6.8	1999	0
1980	39.5					2000	0
1981	33.3					2001	0
1982	24.6					2002	57
						2003	9

TABLA 27 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 16052, 22004 y 22006

22011		22024		24093	
Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)	Año	Precipitación Máxima Anual (mm)
1942	36	1972	30	1961	29.5
1943	41	1973	40	1962	24
1944	37.5	1974	137	1963	30
1945	41	1975	105	1964	24
1946	60	1976	51.8	1965	60
1947	40	1977	58	1966	35.5
1948	51.5	1978	97.5	1967	60
1949	87.5	1979	75	1968	35
1950	40.5	1980	100	1969	40
1951	50	1981	60	1970	68
1952	44.5	1982	29.5	1971	45
1953	45	1983	67.5	1972	65
1954	80	1984	54	1973	25
1955	60	1985	58	1974	31
1956	54	1986	35	1975	35
1957	60	1987	58	1976	65.5
1958	93	1988	126	1977	70
1959	52	1989	36	1978	2.5
1960	94	1990	38.4	1979	0
1961	23	1991	30	1980	11.4
1962	48	1992	0	1981	31.1
1963	90	1993	212	1982	15.2
1964	72	1994	40	1983	19.3
1965	46	1995	29	1984	34.2
1966	60	1996	15	1985	25.5
1967	70	1997	20	1986	37.5
1968	43	1998	68.2	1987	41.5
1969	80	1999	84	1988	12.5
1970	50	2000	52	1989	15.5
1971	50	2001	66	1990	15.9
1972	80			1991	68
1973	18			1992	42.5
1974	195			1993	62
1975	30.4			1994	21.4
				1995	93
				1996	77
				1997	63.3
				1998	66.1
				1999	35.1
				2000	67.4
				2001	56.9
				2002	36.3

TABLA 28 Lluvias máximas anuales de todos los años de registro para las estaciones 22011, 22024 y 24093

