



Estudio de las inundaciones en la ciudad de Morelia Michoacán, México

Study of flooding in the city of Morelia Michoacan, Mexico

Arreygue Rocha, E.✉ - Pastor Gómez, N. - Chávez Negrete, C. - Alarcón Ibarra, J.

Recibido: 26 de Mayo de 2011 • Aceptado: 06 de Junio de 2012

Resumen

En el presente trabajo se recogen los resultados del estudio de inundabilidad de la ciudad de Morelia (México). Frecuentemente se inundan algunas poblaciones del noroeste de la ciudad, debido a desbordamientos de los principales ríos que la atraviesan, concretamente los ríos Grande y Chiquito. La modelización de las zonas inundables se llevó a cabo mediante el programa HEC-RAS, lo que permitió conocer la capacidad máxima previa al desbordamiento y las características del flujo en régimen influenciado a partir del análisis de secciones transversales, incluyendo los numerosos puentes que atraviesan ambos ríos, y considerados, a priori, una de las causas fundamentales de los frecuentes desbordamientos observados. Finalmente, se estimó el periodo de recurrencia de los caudales de desbordamiento estimados previamente mediante el análisis hidráulico. A partir del estudio se determinaron los puntos más vulnerables, proponiéndose medidas correctoras con el objetivo de minimizar el riesgo en las poblaciones aledañas a los cauces.

Palabras clave: Inundaciones, Río Grande, Río Chiquito, Morelia, HEC-RAS.

Abstract

This paper focuses on the analysis of the degree of flooding vulnerability to which the city of Morelia is usually exposed to. Our concern arises due to the fact that every rainy season several neighborhoods in Morelia tend to get flooded, especially in the northern part of the city which the "Río Grande" runs through. The southeastern part of the city, through which the "Río Chiquito" reaches into, is often affected as well. Heavy rainfall in the upper part of the basin causes great flows, which in turn endanger the neighborhoods that are located near these rivers.

The runoff of both rivers, "Grande" and "Chiquito", was analyzed in order to create a computer-generated model using

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,
Facultad de Ingeniería Civil, Morelia, Mich., México,
Tel. +52-443-327-3856.

✉ arrocha@umich.mx

HEC-RAS to evaluate the displacement of their free surface waters under permanent moving conditions in each river as well as the geometric conditions of their transversal sections. The amount of water flow was also measured taking into consideration the bridges that rest across them without overlooking the geometry of such structures.

Having gathered all these data, the most vulnerable spots were identified and some simple preventive measures and actions were proposed. Such measures and actions will help diminish or even eliminate flooding risks for the settlements nearby these two main innercity water streams.

Keywords: River floods, Rio Grande, Rio Chiquito, Morelia, HEC-RAS.

INTRODUCCIÓN

Durante la última década, el número de sequías e inundaciones ha aumentado trágicamente, debido al deterioro de las condiciones medioambientales y al cambio climático provocados por los fenómenos de *El Niño* y *La Niña* (Díaz Bautista, 2008). Magaña (2004) y Landa et al. (2008), señalan que en los últimos 50 años han ocurrido doce acontecimientos de El Niño, siendo los más intensos los siguientes: 1982-1983, 1986-1987, 1991-1992 y 1997-1998, pero también han ocurrido varios eventos de La Niña en los periodos de 1988-1989, 1995-1996 y 1998-1999.

Entre 1980 y 2000 los desastres naturales por inundaciones provocadas por lluvias excepcionales ocurridos en México han dejado daños materiales por más de 10,000 millones de dólares. Las características físicas del territorio condicionan que actualmente existan setenta y cuatro ciudades y doce millones de habitantes expuestos a efectos de ciclones tropicales, si bien la población en riesgo potencial por inundaciones asciende a 22 millones de personas. Por todo lo anterior la UNESCO (2007) señala que México es un país vulnerable a los impactos del cambio climático. De esta forma, la situación geográfica contribuye a que México esté expuesto, en mayor medida que muchos otros países del continente, a eventos hidrometeorológicos que pueden llegar a situaciones de desastre y cuyos

efectos se verán agravados por el calentamiento global (Magaña et al. 1998; Magaña, 1999). De acuerdo con la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD, 2004), en el año 1999 se registraron las peores inundaciones de la historia de Latinoamérica, dejando 300,000 personas sin hogar.

El objetivo principal de este trabajo es la evaluación del impacto hidráulico generado por los puentes construidos en los Ríos Grande y Chiquito, que atraviesan la Ciudad de Morelia en Michoacán, México, lo que ha ocasionado constantes desbordamientos. De igual manera se desea conocer la geometría actual de los cauces, identificar las márgenes más bajas, y las zonas de mayor sedimentación. Con la información recabada se proponen medidas de prevención que disminuyan el riesgo de las inundaciones.

LOCALIZACIÓN

El Estado de Michoacán tiene una extensión territorial de 60,093 km² y forma parte de la Región Centro Occidente de la República Mexicana. La hidrografía del Estado está controlada por dos grandes ríos: el Río Balsas y el Río Lerma. En el Río Balsas se encuentran ubicadas la presa de Infiernillo, una de las más importantes del país, y la presa José María Morelos, mejor conocida como La Villita, ambas construidas con la finalidad de generar energía eléctrica.

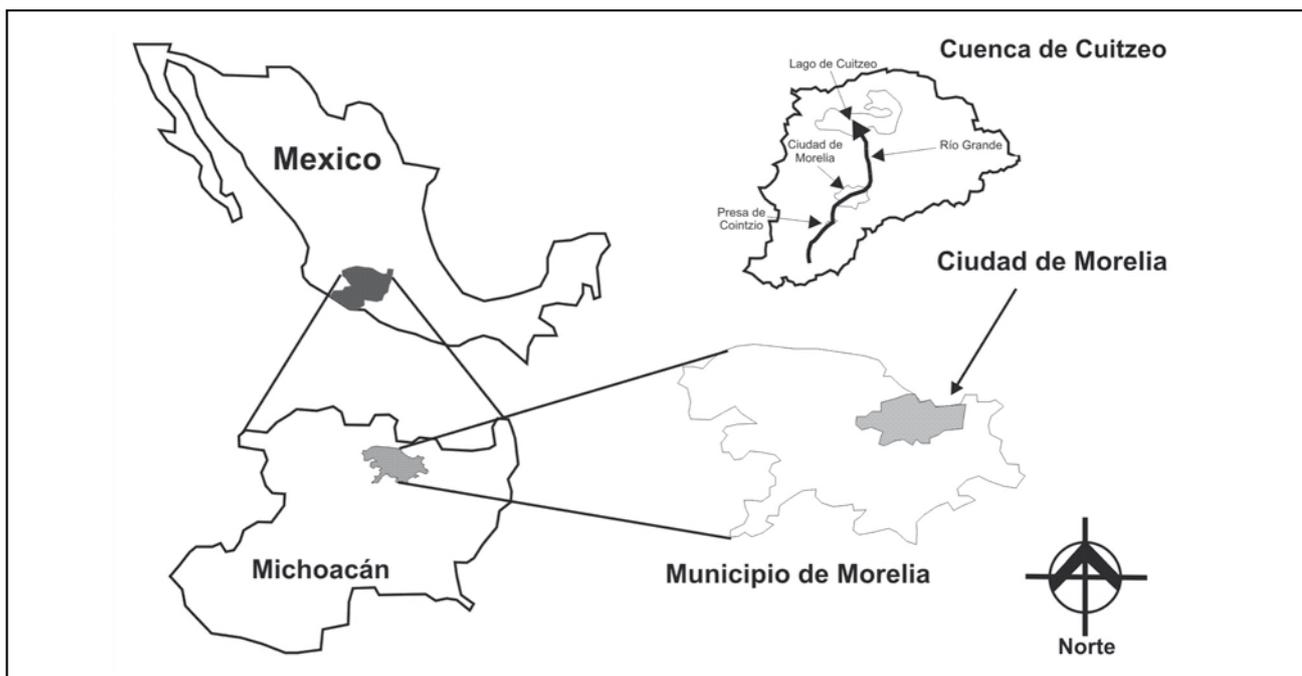


Figura 1. Localización de la Ciudad de Morelia con respecto a la República Mexicana.

La capital del Estado de Michoacán es la Ciudad de Morelia (Figura 1), su municipio se encuentra localizado al NO del Estado y tiene una extensión de 1,308 km². La ciudad está ubicada en los 19°42' Latitud Norte y los 101°11' de Longitud Oeste, con una altura de 1941 m.s.n.m. y de acuerdo con el último censo la ciudad tiene 729,279 habitantes (INEGI, 2010).

La cuenca cerrada del lago de Cuitzeo (Figura 1) se localiza al Norte de la Ciudad de Morelia y ocupa una superficie cercana a los 4000 km². Los principales ríos que drenan esta cuenca son: el Río Grande y el Río Chiquito que atraviesan la ciudad. El Río Grande tiene una dirección SO-NE y divide a la ciudad en dos partes, comprende casi en su totalidad a la ciudad de Morelia. La cuenca del Río Chiquito tiene su origen en la cañada de Jesús del Monte teniendo una dirección SE-NO y termina en la confluencia con el Río Grande.

La ausencia de un Plan de Crecimiento Urbano para la ciudad es la condición principal por lo que se rectificaron los cauces naturales de los ríos, utilizando los antiguos cauces para nuevos desarrollos urbanos. Además, los Ríos Grande y Chiquito son utilizados para las descargas de aguas residuales de la población y de las industrias. La problemática que se vive cada periodo de lluvias, es causada por las precipitaciones excepcionales que incrementan el caudal en los ríos que atraviesan la ciudad, provocando desbordamientos constantes, lo cual ha

inducido daños a las viviendas, vías de comunicación, etc., (Arreygue, 1998; Arreygue y Garduño, 2004).

En la última década los efectos de los eventos climáticos extremos han sido más frecuentes, debido a los cambios tan drásticos que se presentan en la región de Morelia. La precipitación promedio en la cuenca estudiada es 750 mm/año (Figura 2). En el año de 2002 se registró una precipitación de 900 mm/año, provocando pérdidas económicas cuantiosas debido a las inundaciones provocadas por los afluentes de los ríos analizados.

El 5 de septiembre de 2003 se registraron 75 mm de lluvia en dos horas, cantidad mayor al promedio histórico registrado hasta esa fecha. El mismo año se presentó otro evento extremo que causó severas inundaciones en la ciudad durante los días 15, 16 y 17 de septiembre.

Con la información que se obtuvo de la hemeroteca del periódico local (La Voz de Michoacán) en relación a las inundaciones históricas de la ciudad de Morelia, se observó que éstas son más persistentes a partir de la década de los 70. Cabe señalar que las inundaciones más frecuentes en los últimos años, se presentan con mayor frecuencia en el mes de septiembre (Arreygue y Garduño, 2004). Los procesos de expansión y crecimiento desordenados que ha sufrido la ciudad, provocaron que durante el periodo 1955-2010 ésta se viera afectada por más de 165 inundaciones de diferentes magnitudes; sólo en 2005 tuvieron lugar 10 de estos eventos (Arreygue et al. 2005).

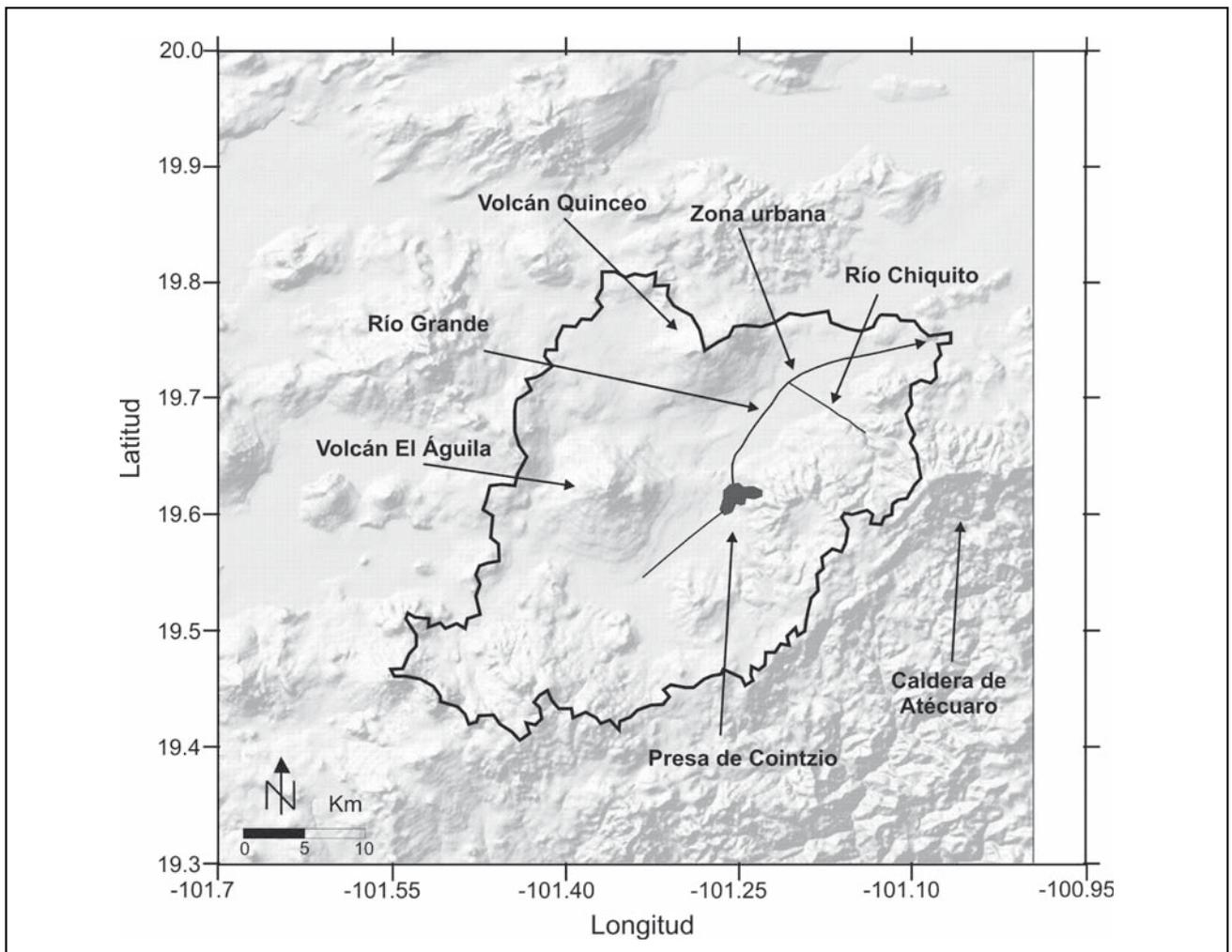


Figura 2. Cuenca hidrológica de la ciudad de Morelia (INEGI, 2005).

Hasta la fecha, 2005 ha sido el año con la temporada de lluvias excepcionales más intensas, provocando daños en viviendas e infraestructura; lo que trae como consecuencia el perjuicio a la ciudadanía en general debido a la suspensión de servicios provocados por las fuertes lluvias.

Según los registros de las lluvias del periodo 1955 a 2010 (CNA, 2010; SEDENA, 2010) el mes más crítico es septiembre, con 20 eventos extraordinarios. El mes de marzo ocupa el segundo lugar con un total de 15 eventos, siguiéndole el mes de octubre con 14 eventos. El periodo de lluvias para esta región coincide con los eventos extremos que se presentan en los meses de julio a octubre, aunque también los registros indican que se han presentado eventos extraordinarios en los meses de marzo y abril, posiblemente debido a factores como los frentes fríos.

La cuenca del Río Grande tiene un escurrimiento directo, estimado por la respuesta rápida a la lluvia, y que se considera como el resultado de la lluvia efectiva o en exceso. El río tiene una longitud aproximada de 88 km, es permanente debido a que numerosos manantiales y escurrimientos del lugar lo alimentan, además es regulado por la presa de Cointzio, la cual permite dividir su suministro en abastecimiento para la Ciudad de Morelia, para el distrito de riego y para regular las avenidas. El área de la cuenca del Río Grande es de 1,200 km², y la pendiente modificada de su cauce principal es de 0,006 (Figura 2).

METODOLOGÍA

Datos de partida

La delimitación y estimación de la superficie de la cuenca se llevó a cabo mediante el modelo digital de elevación correspondiente a las cartografías E14A23, E14A23 y E14A13, editadas por el Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI, 2005). Los registros hidrometeorológicos fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2010) y la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA, 2010), concretamente los relativos a siete estaciones que se encuentran dentro de la cuenca. La información fue analizada, elaborándose histogramas de las precipitaciones de cada una de las estaciones. La lluvia promedio para la cuenca en estudio se calculó por dos métodos, Polígonos de Thiessen y de las Isoyetas. Los resultados que se presentan en este trabajo corresponden al método de las Isoyetas.

Aplicación del programa HEC - RAS

El análisis hidráulico se llevó a cabo mediante la aplicación del programa HEC-RAS en su versión 3.1, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de EE. UU. (US Army Corps of Engineers), que, entre otras aplicaciones, permite evaluar el efecto hidráulico inducido por puentes. La finalidad del software es evaluar el modelo de cálculo adoptando y analizando las características hidráulicas en base a sus fenómenos que están ligados al escurrimiento de las avenidas hídricas, al interno de canales artificiales y/o cursos de agua naturales.

La calibración del modelo para los dos casos en estudio se hizo bajo cuatro modalidades: la primera con datos medidos en campo, como la elevación y el gasto (se hicieron varias lecturas en diferentes sitios); la segunda se basó en observaciones directas del cauce y secciones del río para posteriormente comparar las secciones e imágenes; en la tercera se consideraron los

caudales de los escurrimientos hidrométricos de la estación de Atapaneo; la cuarta se hizo para verificar lo anterior con tablas y fórmulas propuestas por Chow (1998) y French (1993).

Modelo del Río Grande

Para la modelación del Río Grande se tomó la información proporcionada por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2004), que realizó un levantamiento topográfico de las secciones transversales del cauce y las secciones de los puentes, a lo largo de una longitud de 18.5 km. Para el modelo se consideraron 183 secciones transversales, con un coeficiente de Manning de 0.023, considerándose la hipótesis de flujo no permanente. El lecho del río tiene una pendiente del 5%, por lo que se consideró una velocidad de tránsito de 3 a 5 m/s. Además, en el tramo en estudio se localizan siete puentes vehiculares que se incluyen en el modelo. Se tomaron como base algunos caudales de desbordamientos históricos; los caudales de proyecto presentados en este trabajo son: 50, 75 y 90 m³/s. En los siguientes párrafos se muestran los resultados de las simulaciones realizadas.

Modelo del Río Chiquito

Las secciones transversales y las secciones de los puentes se obtuvieron a través de un levantamiento topográfico utilizando una estación total. Se consideró, únicamente, la zona urbana, con una longitud de 7.0 km, adoptándose un coeficiente de Manning de 0.033 y 0.045 (márgenes con vegetación). Existe un tramo del río de 300 m que se ubica al ingreso a la ciudad (Club Campestre), recubierto de mampostería hidráulica, por lo que se adoptó un coeficiente de Manning de 0.017. La pendiente del río en la zona urbana es del 4%, con una velocidad variable de 3.0 a 4.5 m/s. Para el modelo se incluyeron 159 secciones transversales con 19 puentes vehiculares.

Periodo de retorno

Con el objeto de conocer el periodo de recurrencia medio de los caudales límite a partir de los cuales se producían desbordamientos en los cauces analizados, se procedió al ajuste de los caudales máximos anuales observados durante el periodo 1928-2003 a las funciones de distribución Gumbel y Weibull, según lo propuesto por Chow et al. (1994), Linsley et al. (1990) y Moisello (1985). La validación de los resultados del ajuste efectuado se llevó a cabo por medio del conocido test estadístico "Chi" cuadrado (Chow et al. 1994). Los datos fueron proporcionados por la Delegación de Michoacán de la Comisión Nacional del Agua.

RESULTADOS

Aplicación del programa HEC-RAS

Modelo del Río Grande

En el caso del Río Grande se consideró un gasto de 50 m³/s. La finalidad, tal y como se indicó en párrafos precedentes, fue verificar la capacidad de los puentes, ya que por lo general la altura que tienen no es suficiente para dejar pasar el flujo. En la Figura 3 se observan el perfil del río y la lámina de agua. Las líneas verticales indican los diferentes puentes que se localizan en el tramo en estudio, observándose que para este caudal el río no tiene problemas para desalojar el flujo, a pesar de los desniveles y de las márgenes bajas que existen en algunas zonas.

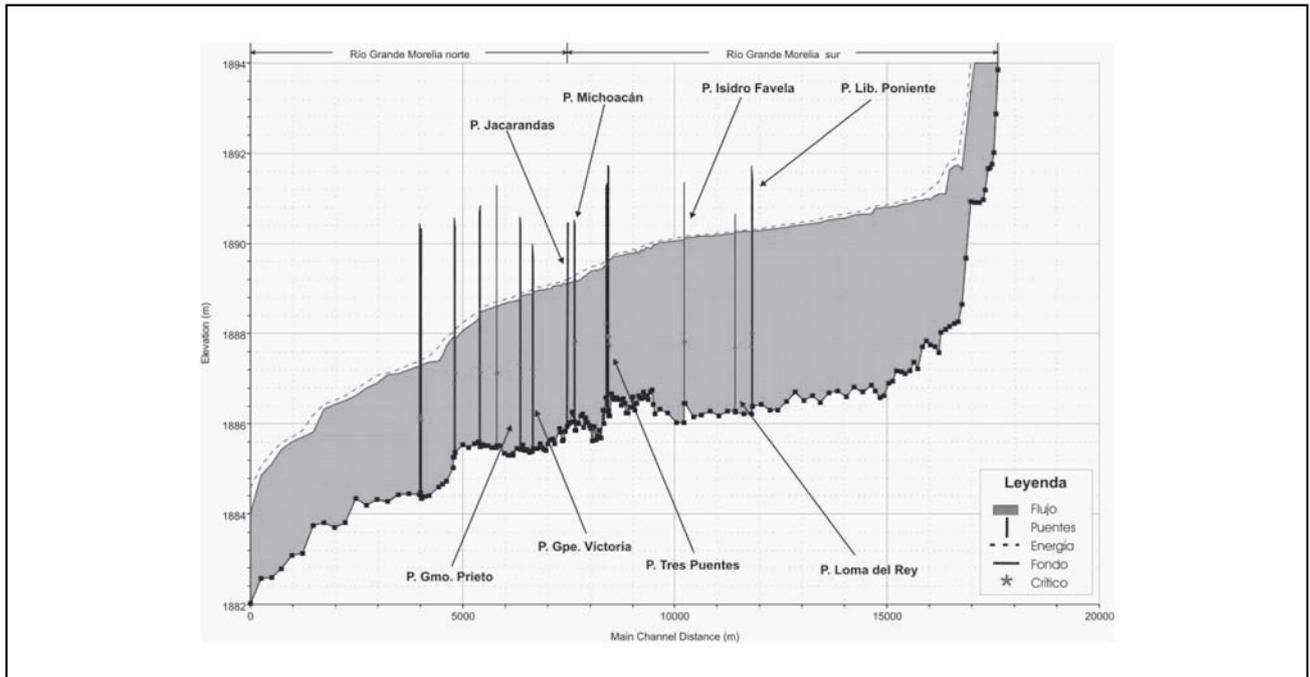


Figura 3. Perfil longitudinal del Río Grande para un caudal de $50 \text{ m}^3/\text{s}$.

Posteriormente se aplicó un caudal de $90 \text{ m}^3/\text{s}$, reflejando que la mayoría de los puentes no cumplen con el claro o luz del puente y altura necesarios para dejar pasar el flujo, lo que supone un peligro para las poblaciones que se localizan a ambos lados del río en este tramo, ya que en algunas zonas las márgenes son muy bajas o en otros casos, forman remansos (Figura 4).

Las poblaciones más afectadas para cada periodo de lluvias son: Tres Puentes, Primo Tapia, Prados Verdes, Lomas de Santiaguito, Carlos Salazar, Granjas del Maestro, Ejidal Tres Puentes, etc. Según Arreygüe *et al.* (2005) algunas de estas poblaciones tienen un desnivel de más de cuatro metros con respecto a la margen norte del río.

Para tener una idea más clara sobre los escurrimientos del Río Grande se elaboró un perfil con un caudal de $75 \text{ m}^3/\text{s}$. El programa permite claramente observar el efecto de la crecida en las distintas secciones transversales consideradas, los puentes, así como el nivel del flujo. En este tramo del río se anexaron los puentes localizados en la población de Tres Puentes. La modelación sugirió que dichos puentes permiten el paso del flujo sin problemas. Sin embargo, aguas arriba de la población de Tres Puentes, existe el desbordamiento, principalmente de la margen izquierda.

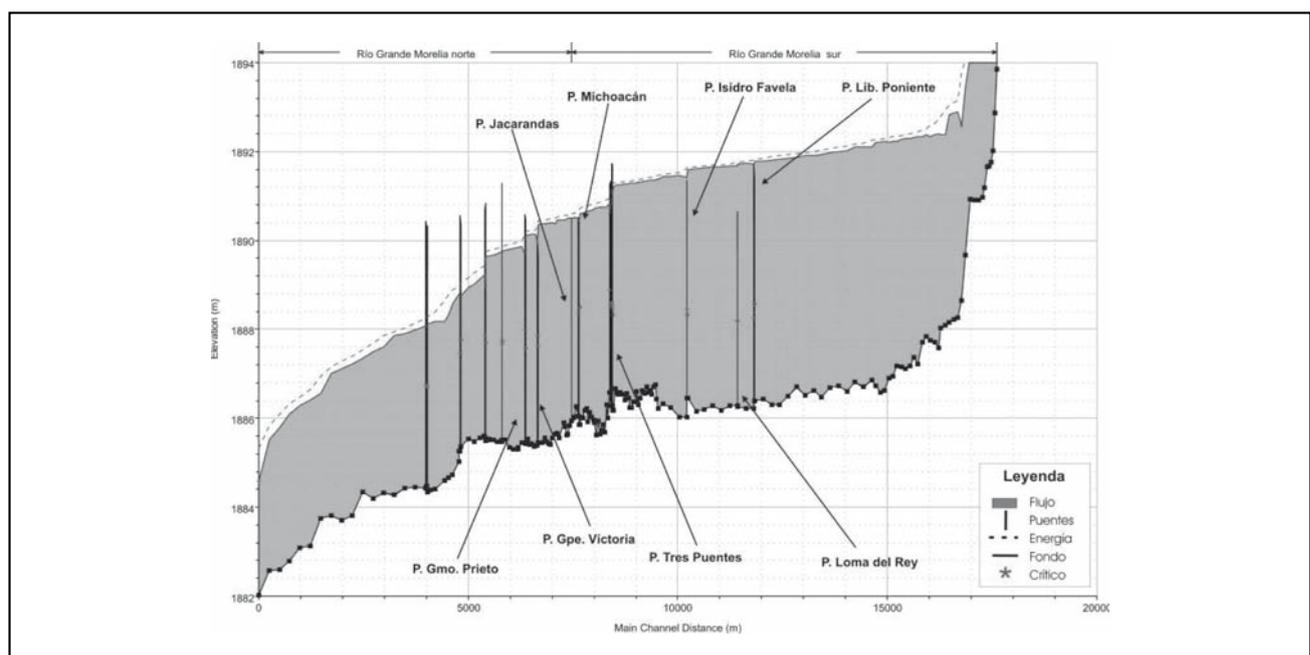


Figura 4. Perfil longitudinal del Río Grande para un caudal de $90 \text{ m}^3/\text{s}$.

Modelo del Río Chiquito

La cuenca hidrográfica del Río Chiquito posee 85 km² y la longitud de su cauce es de aproximadamente 20 km. El cauce del río, en su tramo urbano fue rectificado en 1939 y en particular sus secciones fueron redimensionadas para un gasto máximo de proyecto de 125 m³/s. Posteriormente se hizo otro estudio sobre la capacidad hidráulica efectiva del Río Chiquito, en ausencia de los puentes, que dio como resultado un gasto de 70 m³/s. Tal reducción del caudal máximo está directamente relacionada con la elevada tasa de sedimentación y una espesa cubierta vegetal (SARH, 1985). Existen, además, diversos puentes, algunos de los cuales afectan directamente las secciones, reduciéndolas sensiblemente. El resultado de la modelación parece sugerir que las inundaciones en la Ciudad de Morelia son muy frecuentes y las principales causas de los desbordamientos del río son la poca capacidad hidráulica de sus secciones y la presencia de 19 puentes, todos en el tramo urbano.

El primer modelo se elaboró para un caudal de 50 m³/s. Estudios anteriores (Arregue y Garduño 2004), revelaron que era la capacidad a la cual el río no se desbordaba. Sin embargo en este último estudio se reveló que algunos puentes poseían una altura inferior a la necesaria para dejar pasar el flujo, provocando un remanso en el caso de los puentes Camelinas (ya rediseñado para un caudal mayor en el 2007), Virrey de Mendoza y García Obeso, entre otros.

El segundo análisis se realizó con un gasto de 70 m³/s, observándose que la mayoría de los puentes entran en conflicto, porque su capacidad es menor a la requerida (Figura 5). La zona del Club Campestre se ve afectada con el desbordamiento del

río, ya que la luz de los puentes Campestre y Camelinas, que se encuentran al ingreso a la ciudad, tienen un área reducida impidiendo que el flujo circule libremente.

En el tercer modelo se aplicó un gasto de 80 m³/s, observándose que el flujo puede escurrir libremente sin ningún puente sobre el río, pero con todos los puentes, el río se desborda cuando sus márgenes están a cotas bajas.

La capacidad del río es variable así como las alturas de los márgenes, debido al constante dragado y a que, en ocasiones, el material retirado del lecho es depositado en las mismas márgenes dándole una mayor altura.

Otro de los principales problemas que se presenta sobre el Río Chiquito, es el relacionado con la inestabilidad de sus márgenes. El concreto hidráulico colocado está completamente fracturado y afectado por numerosos fenómenos de asiento diferencial, que han ocasionado una importante modificación de la capacidad de evacuación de caudales del río.

Periodo de retorno

Se procedió al ajuste de los datos observados del caudal correspondientes al periodo de 1955 a 2010 (59 años), a una función de distribución de Weibull. Los resultados del ajuste de la distribución con parámetros a=34,1638, y b=1,8749, se observan en la Tabla 1.

Se muestra además en la Figura 6 el histograma de frecuencia, donde no representa el número de datos observado en los diferentes intervalos y ne los datos esperados en cada intervalo según la distribución de probabilidad de Weibull.

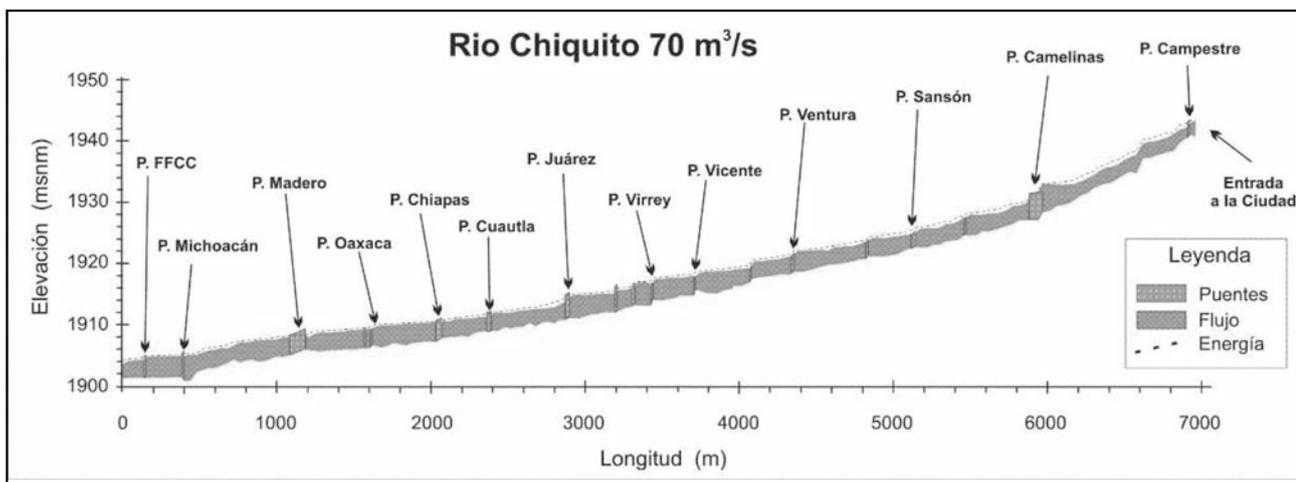


Figura 5. Perfil longitudinal del Río Chiquito para un caudal de 70 m³/s.

Tabla 1. Resultados del ajuste de la distribución de Weibull.

Intervalo	Rango	nº	f(x _i)	n _e	χ ²
1	1-17.3	12	0.2034	15.9258	0.9677
2	17.3-33.6	27	0.4576	23.8499	0.4161
3	33.6-49.9	12	0.2034	15.2440	0.6903
4	49.9-66.2	6	0.1017	5.8536	0.0037
5	66.2-82.5	2	0.0339	1.4744	0.1873
Total		59	1.0	62.3477	2.2651

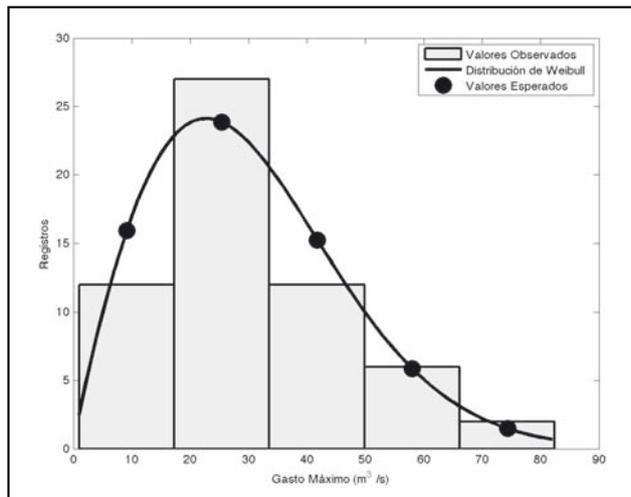


Figura 6. Histograma de frecuencia de los gastos máximos y ajuste de la distribución de Weibull.

Para verificar la bondad del ajuste, se aplicó el test estadístico χ^2 mediante la expresión:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{[O_i - E_i]^2}{E_i}$$

donde:

m = número de intervalos

O_i = ocurrencias observadas en el intervalo

E_i = ocurrencias esperadas en el intervalo

El valor total obtenido es $\chi^2 = 2,2651$ y el valor determinado de la distribución de probabilidad "Chi" cuadrada con 2 grados de libertad es $\chi^2_{\alpha} = 2,095 = 58,3722$, por lo que el ajuste de la distribución de Weibull a la serie de gastos máximos en el cauce del Río Grande se acepta.

Con la finalidad de conocer con qué frecuencia se presentarían lluvias excepcionales en la zona en estudio, se hizo el análisis de los Valores Extremos de Gumbel y Weibull. Para lo cual se tomaron los registros de los gastos máximos del Río Grande, para un periodo de 75 años. Para el caso de Gumbel resulta que para una avenida de 83 m³/s, el tiempo de recurrencia del evento es de 75 años. El resultado del ajuste a la

función de Weibull sugiere un periodo de recurrencia 75 años para un caudal de 82 m³/s, mientras que el caudal de 70 m³/s tendría un periodo de retorno de 30 años.

CONCLUSIONES

Las precipitaciones extremas y las intervenciones antrópicas han ocasionado importantes inundaciones en la zona urbana de la ciudad de Morelia. Los cauces de los Ríos Grande y Chiquito fueron modificados en el pasado, circunstancia que se ha traducido en un aumento de la frecuencia de desbordamientos en zonas que correspondían a antiguos cauces y que ahora están ocupadas con viviendas e infraestructuras.

La capacidad de evacuación de caudales del Río Grande es 70 m³/s. Por lo tanto, valores de caudal iguales o inferiores al indicado no constituyen problema alguno para las poblaciones ribereñas ni para los puentes que atraviesan el cauce. Valores superiores a 95 m³/s crean problemas de desbordamientos principalmente en las poblaciones de Tres Puentes, Prados Verdes, etc. En el caso del Río Chiquito, se observó que el caudal apropiado para que el río no presente desbordamientos es 50 m³/s, mientras que a partir de 70 m³/s, existen problemas de desbordamiento evidentes.

Se aplicaron las funciones de distribución de Valores Extremos de Gumbel y de Weibull utilizando los gastos máximos históricos registrados en cada estación de monitoreo. Los resultados obtenidos para el Río Grande sugieren que el caudal de 70 m³/s presenta un periodo de recurrencia medio comprendido entre 25 y 30 años, mientras que el caudal de 80 m³/s presenta un periodo de retorno comprendido entre 70 y 75 años.

Como consecuencia del estudio realizado, se han propuesto acciones de mejora como desazolve periódico de los cauces, construcción de cárcamos de bombeo en determinados puntos, construcción de muros de concreto en las márgenes más bajas, remoción de la vegetación arbustiva y medidas diversas que impidan modificaciones en los usos del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen ampliamente a la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo (Morelia, Michoacán, México), por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo. Se agradece a la Ing. Argelia Calderón Gutiérrez por su apoyo en la traducción al inglés del resumen del presente texto.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

ARREYGUE ROCHA E. 1998.

Le condizioni di pericolosità idrogeologica nella città di Morelia, Michoacan, Messico. *Tesi di Dottorato. Università degli Studi di Firenze, Italia. 171 pp.*

ARREYGUE ROCHA E. Y GARDUÑO-MONROY V.H. 2004.

Eventos excepcionales e inundaciones en la ciudad de Morelia, Michoacán. *Revista Ciencia Nicolaita, UMSNH. No. 39. 47-60 pp.*

ARREYGUE ROCHA E., ALCALÁ OCHOA S. Y GARDUÑO MONROY V.H. 2005.

Estudio geológico, hidrológico, hidráulico y topográfico de las zonas potenciales a inundaciones de las colonias Jardines de Santiaguito, Jaime Nuno y Carlos Salazar, en el municipio de Morelia, Michoacán. *Informe técnico. 29 pp.*

BEDIENT P.B. AND HUBER W.C. 2002.

Hydrology and floodplain analysis. *Prentice Hall. 1-165 pp.*

CHOW VEN TE. 1998.

Hidráulica de canales abiertos. *McGraw-Hill. 87 - 124 pp.*

- CHOW VEN TE, MAIDMENT DAVID R., Y MAYS LARRY W. 1994.
Hidrología aplicada.
McGraw-Hill. 131 - 179, 391 - 409 pp.
- CNA. 2010.
Comisión Nacional del Agua.
Delegación Michoacán. Centro meteorológico de Morelia.
- DÍAZ BAUTISTA A. 2008.
Un análisis económico para México del Protocolo de Kyoto.
Desarrollo Local Sostenible. Vol. 1 No. 1. 20 pp.
- EIRD. 2004.
Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. Vivir con el riesgo.
Informe mundial sobre iniciativa para la reducción de desastres (EIRD/ONU). 1-19 pp.
- FRENCH R.H. 1993.
Hidráulica de canales abiertos.
McGraw-Hill. 111 - 163 pp.
- IMTA. 2004.
Estudio del manejo de aguas pluviales en la zona metropolitana de Morelia, Estado de Michoacán.
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 140-153 pp.
- INEGI. 2010.
Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
Censo de población y Vivienda 2010.
- INEGI. 2005.
Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática.
Modelo digital de elevación.
- LANDA R., MAGAÑA V, Y NERI C. 2008.
Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático.
SEMARNAT, México. 135 pp.
- LINSLEY RAY K., KOHLER MAX A. Y PAULUS JOSEPH L.H. 1990.
Hidrología para Ingenieros.
McGraw-Hill, Segunda edición, 386 pp.
- MAGAÑA RUEDA V. 2004.
Los impactos del Niño en México.
Centro de la Atmósfera, UNAM, Secretaría de Gobernación, México. 229 pp.
- MAGAÑA R. V. 1999.
Los impactos de "El Niño" en México.
Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM, Dirección General de Protección Civil, Secretaría de Gobernación, México. 229 pp.
- MAGAÑA V., J. VÁZQUEZ, J. L. PÉREZ Y J. PÉREZ. 1998.
Impact of El Niño on precipitation in Mexico.
Geofísica Internacional. Vol. 42. Num. 3. p. 313 – 330.
- MOISELLO U. 1985.
Grandezze e fenomeni idrologici.
La Goliardica pavesel. Pavia, Italia. 283 pp.
- SARH. 1985.
Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Estudio hidrológico, Obras de protección a la ciudad de Morelia, Michoacán, cauce del Río Chiquito de Morelia.
Dirección general de irrigación y drenaje, Subdirección de programas y estudios específicos, Coordinación general centro, Residencia estatal Michoacán p 100 pp.
- SEDENA. 2010.
Secretaría de la Defensa Nacional. Centro Meteorológico 21ª Zona Militar, Morelia, Michoacán, México.
Informe inédito.
- UNESCO 2007.
Informe sobre desarrollo humano 2007-2008, La lucha contra el cambio climático,
Crisis climáticas: riesgo y vulnerabilidad en un mundo desigual. 71-108 pp.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE).
Hydrologic Engineers Center. HEC-RAS 3.1.
User's manual, 148 pp. and Hydraulic reference manual, 130 pp.