

Control de inundaciones en la cuenca baja del río Papaloapan

M I Juan Javier Carrillo Sosa

La cuenca del río Papaloapan presenta en la zona de montaña una precipitación media anual del orden de 2 500 mm, que provoca fuertes escurrimientos que se desplazan a la parte baja.



A lo largo de la historia, el desbordamiento del río ha provocado inundaciones que han ocasionado severos daños. La mayor inundación registrada ocurrió en 1944 y cubrió aproximadamente 470 000 ha.

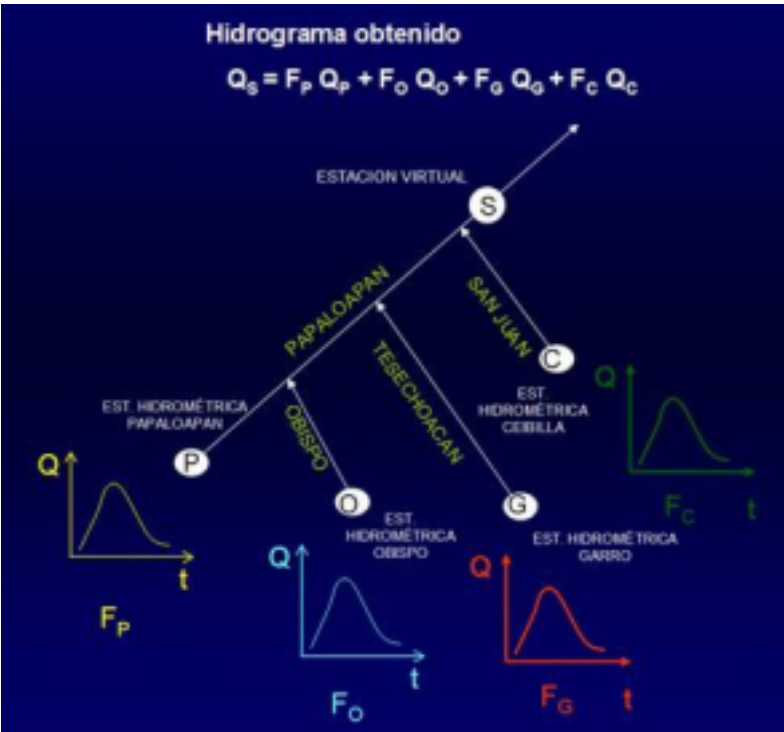
Para reducir los daños ocasionados por las inundaciones se construyeron las presas Miguel Alemán (Temascal), en la década de los 50, y Miguel de la Madrid (Cerro de Oro), en los 70, así como algunos bordos marginales, con lo cual la cuenca alta se considera controlada en la actualidad. A pesar de ello, continúa anegándose la zona baja debido a que existen aportaciones no controladas de los ríos Tesechoacán, Obispo y San Juan Evangelista, cuyos gastos a la zona de planicie superan la capacidad de drenado en ella.



Además, se han construido bordos carreteros que han alterado el drenaje natural reduciendo la capacidad de desalojo de las aguas en las llanuras susceptibles de inundación. La inundación ocurrida en 1996, produjo daños estimados en 580 millones de pesos al afectar 195 000 ha, y la más reciente, en octubre de 2005, produjo daños aproximados de 350 millones de pesos.

Por lo anterior, se contrató al Instituto de Ingeniería, UNAM, para desarrollar un estudio cuyo principal objetivo fue proponer medidas y acciones (estructurales y no estructurales) para reducir los daños en la cuenca baja del río Papaloapan, evaluando su factibilidad con apoyo en un modelo de simulación de ríos que representa el comportamiento para diferentes escenarios.

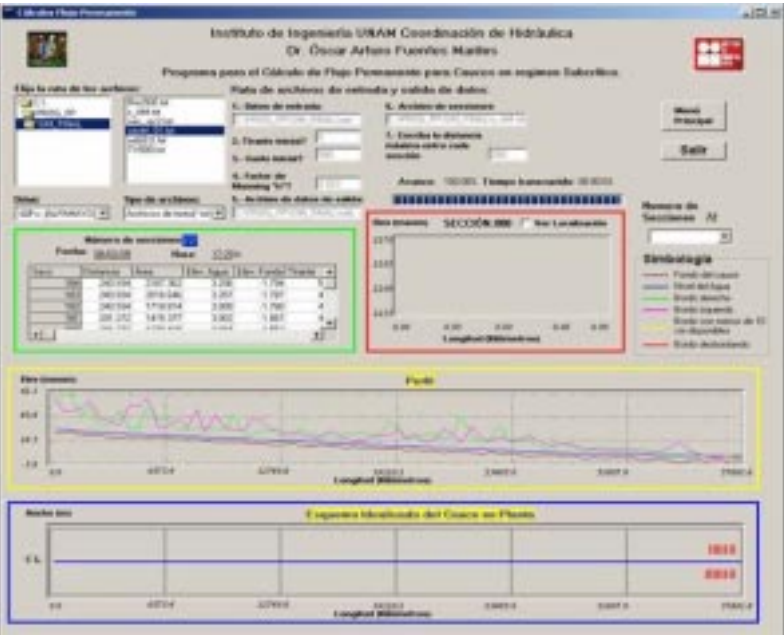
Para llevar a cabo este trabajo fue necesario procesar 3 112 secciones transversales que abarcan más de 340 km de longitud de cauces. Además, se realizó un estudio hidrológico que comprendió el ajuste de las curvas escala-gasto en estaciones hidrométricas y el procesamiento de información de gastos medios diarios registrados en varias estaciones desde 1942, para obtener los hidrogramas de escurrimiento asociados a periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años.



Con base en los trabajos previos realizados por el doctor Ramón Domínguez en el año 2000, se aplicó una metodología para evaluar la probabilidad de ocurrencia de avenidas simultáneas en cuencas donde confluyen más de dos ríos. Interesaba conocer la proporción del caudal calculado para un determinado periodo de retorno que podría fluir aguas abajo. Esta proporción se obtiene afectando los hidrogramas por un factor denominado de proporcionalidad cuyo valor está en función de la ubicación del centro de la supuestas tormentas que generan la avenida. Ello llevó a plantear siete escenarios que constituyen las condiciones más desfavorables de escurrimientos en la zona de estudio.

El análisis del flujo de agua en los cauces se realizó con un modelo elaborado en el Instituto de Ingeniería, que permite conocer las condiciones hidráulicas para flujo unidimensional, tanto en régimen permanente como no permanente.

El modelo se calibró reproduciendo eventos ocurridos de los que se habían registrado las condiciones de caudal y los niveles de agua entre dos secciones conocidas. La aplicación de este modelo matemático permitió conocer la cantidad de agua que podía fluir en los ríos antes de que comenzara a desbordarse y también los hidrogramas que representarían el cambio en la cantidad de agua que se derramaría hacia las llanuras con respecto al tiempo.



Estos hidrogramas sirven para alimentar un segundo modelo matemático, también desarrollado en el Instituto de Ingeniería, que simula el flujo de agua en una zona de planicie. Este modelo, se denomina bidimensional y permite conocer la evolución en el tiempo de la extensión que cubre el agua durante una inundación para ciertas condiciones; así como la profundidad

hidráulica. Los resultados se asocian con los daños que se provocan en el interior de la zona inundada por la afectación o destrucción de viviendas, sembradíos, infraestructura (carreteras, comunicaciones, puentes), etc.

Con ayuda de estas herramientas de simulación se evalúan los efectos en la reducción de la extensión de la zona afectada cuando se implanta una acción estructural como puede ser la construcción o ampliación de bordos marginales, el desazolve del lecho del cauce en algunos tramos, la rectificación de los ríos para incrementar la pendiente hidráulica, etc. Se calcula la probabilidad de ocurrencia de una inundación en un periodo de tiempo (esperanza matemática de la inundación) y se comparan los costos de las obras con respecto al costo del daño evitado, para escoger las acciones más convenientes.

El análisis de varias acciones estructurales y no estructurales permitió llegar a las siguientes conclusiones.

- En general, para inundaciones asociadas a eventos con periodo de retorno grandes (mayores de diez años) las acciones estructurales parecen no competir favorablemente al comparar su costo con el del daño evitado. Por lo que un *programa de regulación de uso del suelo y el establecimiento de planes de auxilio* resulta ser la mejor opción.
- Se observa una reducción en la capacidad de conducción de los ríos por efecto de sedimentación, de ahí que se requiera el *desazolve* en algunos tramos.
- Como un efecto de la pérdida de capacidad de conducción, se ha observado mayor erosión principalmente en márgenes, por lo que es necesario un

programa de protección marginal y mantenimiento de bordos.

- En la zona baja, los bordos no mantienen una altura uniforme e inclusive se reducen en altura, en algunas secciones de hecho no se observa bordo, por lo que al agua sale fácilmente. Una de las soluciones propuestas es *sobrelevar los bordos en algunos tramos*.
- En este proyecto se han invertido aproximadamente 54 600 horas/hombre y 22 000 horas/computadora en procesos de cálculo.
- Se gastaron \$927 252.65 que incluyen adquisición de equipo de cómputo, becas, viáticos, servicios externos e insumos varios. Lo anterior equivale al 0.44% del costo de los daños provocados por el huracán Stan, en esta zona en octubre de 2005. Las obras propuestas implican una inversión aproximada de 370 millones de pesos y rescatarán cerca de 25 000 ha que actualmente se inundan con una periodicidad casi anual.
- El proyecto beneficiará a cerca de 80 000 habitantes de escasos recursos.
- Se debe recordar que si bien la inundación puede provocar daños, las zonas cultivables se pueden beneficiar con ella.

En este proyecto participaron:

Dr Óscar A Fuentes Mariles, MI Juan Javier Carrillo Sosa, MI Víctor Franco, MI Martín Rubén Jiménez Magaña, MI Enedino Mendoza Facundo, MI Abraham Alejandro Ávila Licona, MI Faustino de Luna Cruz, MI Juan Ansberto Cruz Gerón, Ing José Luis Aragón Hernández e Ing Alicia Ravelo García.

