

## Propuesta para minimizar el impacto de las inundaciones en una cuenca costera de la costa de Chiapas, México

MARTÍN D. MUNDO MOLINA

Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH),  
Boulevard Belisario Domínguez km 1081, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

[ic\\_ingenieros@yahoo.com.mx](mailto:ic_ingenieros@yahoo.com.mx)

**Resumen** En la época de grandes avenidas suelen ocurrir inundaciones en las cuencas costeras del estado de Chiapas, debido principalmente al deteriorando del entorno natural de éstas por efectos antropogénicos. Las inundaciones no sólo suelen causar grandes pérdidas económicas sino también la muerte de ciudadanos. Por tal razón el Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la UNACH desarrolló un proyecto para estudiar alternativas para minimizar el impacto de las inundaciones en la Costa de Chiapas. Aquí se presentan los principales resultados obtenidos en la cuenca del río Coatán. Se estimaron los caudales ( $Q$ ) del río Coatán para diferentes periodos de retorno ( $Tr$ ) y con modelos digitales de elevación del terreno se utilizó un simulador hidráulico para obtener mapas de riesgo. Con dicha información se propuso: (a) La delimitación de la zona federal del río. (b) Desalojar y reubicar a las viviendas de la zona federal a zonas seguras. (c) Sembrar bambú en un tramo que incluye la zona urbana y agrícola del río. (d) Implantar un sistema de alerta temprana para prevenir a la población en situaciones de peligro.

**Palabras claves** cuenca; eventos hidrometeorológicos extremos; caudal pico; inundación; simulación hidráulica; mapas de riesgo; periodos de retorno; sistema de alerta temprana; manejo de cuencas; deforestación

### Proposals for minimizing flooding in the Chiapas coastal river basin, Mexico

**Abstract** During hurricanes floods occur in the coastal river basins of the state of Chiapas, Mexico. The floods are a result of the deterioration of the natural surroundings of the river basin. The deterioration of the natural surroundings is caused mainly by human activity. The floods cause great economic losses and death of citizens. For this reason, the Research Center of the Faculty of Engineering of the Chiapas State University (Spanish acronym: UNACH) has developed a project to study various alternative measures in order to diminish the impact of the floods on the coast of Chiapas, mainly in the Coatán River. This paper presents the main results obtained for the basin of the Coatán River.

**Key words** basin; hydrological extremes; peak runoff; flood; hydraulic modelling; risk; return period; hydrological warning; basin management; deforestation

### INTRODUCCION

En la época de eventos hidrometeorológicos extremos o de grandes avenidas, como consecuencia de las altas precipitaciones en la cuenca del río “Coatán”, suelen ocurrir deslaves, procesos de erosión y transporte de material rocoso y de sedimentos de considerable importancia, que junto a los escurrimientos, se transforman en avalanchas que suelen provocar inundaciones en la parte baja de la misma. Lo anterior debido al deterioro, por efectos principalmente antropogénicos, del entorno natural de la parte alta y baja de la cuenca. El arrastre de materiales y el escurrimiento de grandes volúmenes de agua ocasionan el desborde de los ríos. Una vez desbordados los cauces de los ríos, por falta de capacidad hidráulica se amplían en decenas o cientos de metros rellenando las partes bajas con rocas, material granular o azolves finos. Así, ocurren las inundaciones en zonas rurales y urbanas, causando pérdidas económicas importantes, especialmente en la zona urbana de Tapachula como se demuestra en este estudio, correspondiente a un tramo aproximado de 12.5 km de río, simulado mediante Infoworks RS. Es importante destacar que la ciudad de Tapachula es la ciudad con mayor densidad de población de las ciudades costeras, con una población de más de 200, 000 habitantes (INEGI, 2000).

### ANTECEDENTES

En septiembre de 1998 y octubre de 2005 ocurrieron en Chiapas dos de los eventos hidrometeorológicos extremos que mayor daño han provocado en las últimas décadas a la zona costera del Estado. En septiembre de 1998 eventos hidrometeorológicos extremos y en octubre de 2005 el huracán Stan (Lawrence *et al.*, 2005), dejaron a su paso cuantiosas pérdidas económicas, materiales y además pérdida de vidas humanas (Tabla 1). Las intensas lluvias de ambos eventos

**Tabla 1** Pérdidas materiales y económicas por el paso de eventos hidrometeorológicos extremos (Mundo *et al.*, 2005).

	Eventos extremos, 1998	Huracan Stan, 2005
Damnificados	29 000	92 000
Persona muertas	229	82
Caminos destruidos	712 km	630 km
Puentes dañados	40	253
Sistemas de agua potable y alcantarillados	22	38
Viviendas	16 000	45 166
Escuelas	–	305
Unidades médicas	–	11
Superficie agrícola	51 159 ha	307 000 ha
Costo	63 000 000 US\$	1 149 000 000 US\$

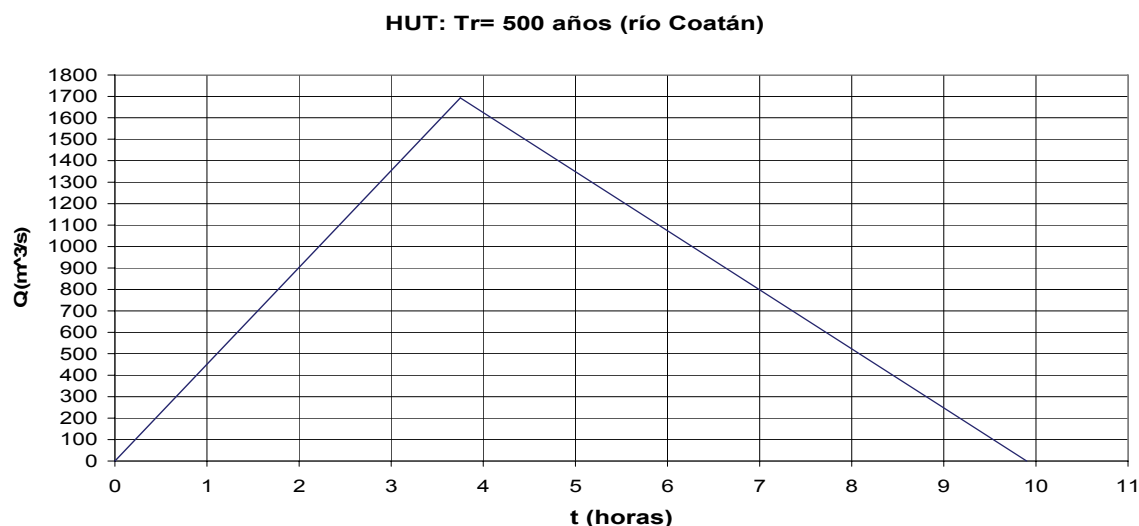
produjeron deslaves, arrastre de árboles, rocas y sedimentos de la parte alta hacia la parte baja de la cuenca que mezclados con un caudal extraordinario causó severos daños en casi toda la planicie costera, afectando a las principales ciudades y comunidades de la costa, principalmente a Tapachula, la segunda ciudad más importante del Estado, desde el punto de vista económico

## PROBLEMÁTICA

Los grandes caudales generados por altas precipitaciones en la cuenca del río Coatán, provocan el arrastre de materiales y el escurrimiento de grandes volúmenes de agua que son potenciados en su movimiento descendente de la parte alta de la cuenca hacia la zona de costa, por las grandes pendientes de la parte alta de la misma, en dirección radial a la franja costera, en la cual ocurre el depósito de los materiales granulares y finos formando abanicos aluviales causando además la reducción de la capacidad hidráulica del cauce principal de la cuenca, que luego ocasiona el desborde de los ríos. Los flujos con alta velocidad proveniente de la montaña pierden energía cinética en su descenso, por lo tanto al encontrar una pendiente menor en la zona baja de la cuenca provocan el incremento del tirante hidráulico y depositación. Una vez desbordados los cauces de los ríos, por falta de capacidad hidráulica, éstos se amplían en decenas o cientos de metros, desviando el sentido del flujo principal en varias direcciones, rellenando en el proceso las partes bajas de la topografía (formándose dunas y acumulación de sedimentos), con rocas, material granular o azolves finos. Así ocurren las inundaciones en zonas urbanas y rurales, provocando pérdidas económicas importantes, de mayor valor en función de la altura del tirante hidráulico de inundación. Desde el punto de vista hidrológico las precipitaciones en exceso se concentra de forma rápida en la parte baja de la cuenca por dos razones: (1) Topográficas: Grandes pendientes de la zona montañosa. La zona montañosa se encuentra muy cerca de la franja costera, 30 km en su parte más ancha y 10 km en su parte más angosta. Esta topografía peculiar provoca altas velocidades del flujo, concentrando los caudales en la parte baja en un tiempo menor, (2) Hidrológicas: Los factores hidrológicos que influyen en la respuesta rápida la cuenca del río Coatán es el número elevado de su densidad de corriente y densidad de drenaje. Así, la respuesta rápida de dicha cuenca significa que el tiempo base del hidrograma es pequeño mientras el caudal es grande (Fig. 1).

## MATERIALES Y METODOS

En este trabajo de investigación se planteó simular hidráulicamente el río Coatán, con el objeto de generar manchas hidráulicas de inundación (mapas de riesgo) para diferentes períodos de retorno, asociado a diversos caudales, con el fin de analizar el alcance máximo de las inundaciones. Con los mapas de riesgo obtenidos se propusieron varias alternativas para minimizar el impacto de las inundaciones. Para cumplir con el objetivo de esta investigación se utilizaron los siguientes materiales: Planos topográficos de la cuenca a escala 1:250 000; Plano topográfico de la cuenca a escala 1:10 000; Trazo de poligonales y curvas de nivel (topografía); Arc View, para la construcción del TIN (triangulación); Infoworks RS, para la simulación hidráulica del río Coatán.

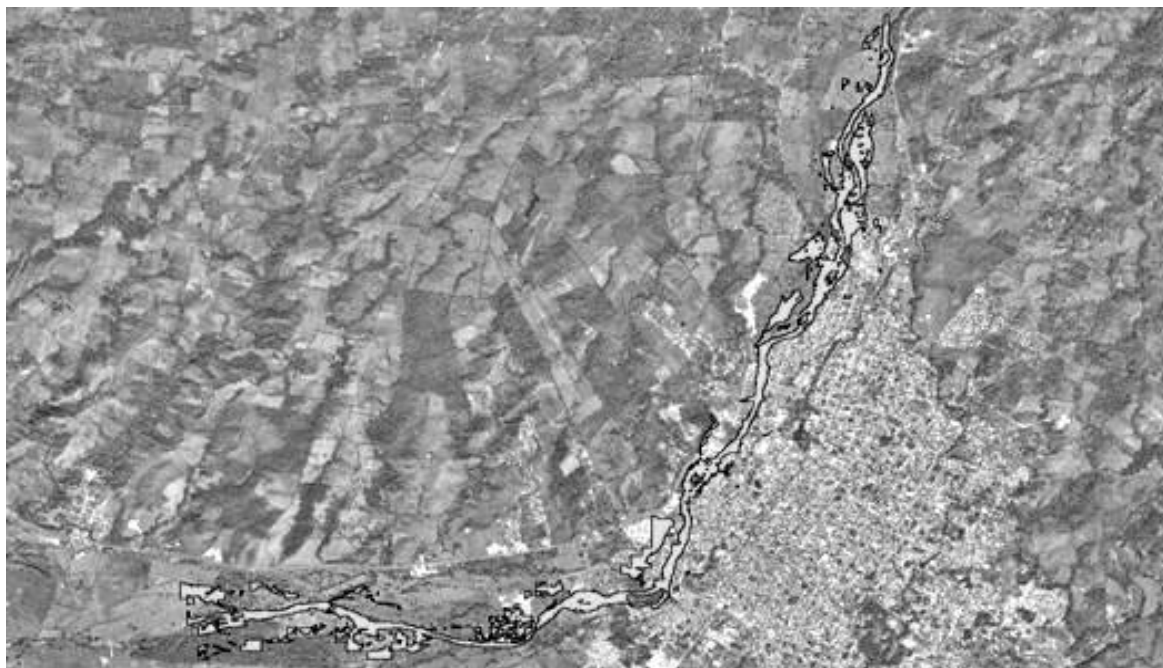


**Fig. 1** Hidrograma unitario triangular para un Tr de 100 años (Mundo *et al.*, 2005).

Por otro lado, para proponer las alternativas de solución a la problemática planteada en este trabajo, se ejecutó la siguiente metodología: (a) Los datos topográficos escala 1:10 000 en AutoCad [valores  $(x,y,z)$ ], se transportaron al programa Arc View; (b) Se realizó la triangulación para la obtención de las secciones transversales y longitudinales del río Coatán, en Arc View; (c) Con dicha triangulación se construyó el modelo digital de elevaciones (MDE) del cauce del río; (d) Una vez construido el MDE, se crearon las secciones en el Infoworks RS; (e) Se calibró el Infoworks RS, utilizando  $n$  de Manning de 0.030 y la mancha de inundación del río Huixtla del evento hidrometeorológico extremo de septiembre de 1998, (f) Con los datos obtenidos de la escorrentía histórica de la cuenca del río Coatán y del estudio hidrológico realizado para la cuenca, se ejecutó el modelo de simulación hidráulica en flujo permanente; (g) Como producto de la simulación se obtuvieron los mapas de riesgo como el que se muestran en la Fig. 2.

## RESULTADOS

Una vez calibrado el Infoworks RS, se realizaron las simulaciones hidráulicas y se obtuvieron los siguientes resultados: Seis mapas de riesgo para los siguientes Tr: 5, 10, 20 50, 100 y 500 años (ver Fig. 2). Con los mapas de riesgo se propusieron las siguientes alternativas para minimizar el impacto de las inundaciones: (a) Sembrar bambú (*Bambusa Vulgaris*) en doble fila, desde el Puente Malpaso (10 km aproximadamente, aguas arriba del acceso de la ciudad) hasta el Puente de la Planta Trituradora (en las afueras de la ciudad de Tapachula), en una longitud total de 52 km, sobre ambos márgenes, a un costo de 154 000 pesos mexicanos (US\$15 400). Los 52 km se deberán sembrar en doble fila, la primera justo a la orilla del cauce, que se constituirá como la primera zona de amortiguación de avenidas y la segunda fila justo en el límite de la mancha hidráulica para un Tr de 5 años (ver Fig. 2), es decir, en el límite de la zona federal que de acuerdo a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, se define en el artículo 4° (página 125) y se enuncia de la siguiente manera: “*Por lo que se refiere a la delimitación, demarcación y administración de las riberas o zonas federales contiguas a los cauces de las corrientes y a los vasos o depósito de propiedad nacional, se estará a lo siguiente: Fracción I: El nivel de aguas máximas ordinarias a las que se refiere la fracción VIII, del artículo 3° de la ‘Ley’, se entiende como el que resulta de la corriente ocasionada por la creciente máxima ordinaria dentro de un cauce sin que en éste se produzca desbordamiento. La creciente máxima ordinaria estará asociada a un período de retorno de cinco años*” (CNA, 2004). Esta segunda fila, se constituirá como una segunda zona de amortiguación de avenidas. Entre ambas filas quedará un área que podrá usarse con fines de recreo, construyendo áreas verdes y de esparcimiento, (b) Debido a los asentamientos de población localizados en la parte federal del río Coatán (ver Fig. 2), esta superficie es una zona de alto riesgo, que incrementa su exposición ante posibles eventos



**Fig. 2** Mapa de riesgo de la zona federal, para el Tr de 5 años (Mundo *et al.*, 2005).

hidrometeorológicos extremos. Por tal razón, deberán reubicarse todas las casas localizadas en dicha zona y deberá además evitarse la construcción de viviendas en la mancha hidráulica para un Tr de 5 años (zona federal), (c) Instaurar un sistema de alertamiento temprano (SAT). El SAT deberá utilizar los mapas de riesgo generados en esta investigación, un hidrograma que permita estimar los caudales de arribo a la sección de medición, así como un sistema de medición de caudales en la salida de la cuenca (estación hidrométrica automatizada o convencional). El SAT aquí expuesto de forma sucinta fue desarrollado en el Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la UNACH (Mundo *et al.*, 2005).

## CONCLUSIONES

A modo de conclusiones se puede enunciar que:

1. El sistema Infoworks RS es una herramienta muy útil para la simulación hidráulica y determinación de áreas de inundación. No obstante la potencialidad del sistema, se recomienda utilizar fotogrametría, productos de vuelos bajos, a escala 1:2000, 1:5000 ó 1:10 000, o también topografía detallada, para obtener buenos resultados. El Infoworks RS calibrado, permite generar “mapas de riesgo de inundaciones” con alta confiabilidad.
2. La reubicación es una acción necesaria y obligada por Ley, sin embargo, es necesario realizar un estudio a detalle para determinar una zona segura para construir nuevas colonias, con el fin de asentar a la comunidad removida y crear la infraestructura necesaria para el buen vivir como: viviendas, escuelas, drenaje, alcantarillado, luz eléctrica, agua potable y pavimentación de calles.
3. Debido a las alteraciones climáticas y al efecto del Enzo, actualmente se está viviendo un período de inestabilidad. Así, el calentamiento del mar en la zona del Caribe está provocando la generación de huracanes que han incrementado no sólo su número sino su intensidad en este período, además con posibles desplazamientos hacia el norte de la Zona de Intertropical de Convergencia. Este escenario suscita el peligro potencial de un evento hidrometeorológico extremo de igual o mayor magnitud que el Mith o el Stan, que no solo supone alto riesgo en las márgenes o zona federal de los ríos, habitado por cientos de miles de personas, sino también en la zonas serranas de la costa de Chiapas, en donde debido a la deforestación de la parte alta de las cuencas pueden ocurrir deslaves, socavones, desgajamientos y corte de caminos que dejarían incomunicados a cientos de pequeños poblados rurales.

4. En las simulaciones hidráulicas realizadas con Infoworks RS para el río Coatán utilizando un período de retorno de 500 años ( $Q = 1693 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), se estimaron tirantes hidráulicos superior a los 4.5 m (en el Puente Malpaso, 10 km aguas arriba del acceso a la ciudad de Tapachula). Los escurrimiento provocados por el Huracán Stan rebasaron el caudal asociado a un Tr de 500 años, por lo que es necesario simular hidráulicamente los ríos de la zona costera de Chiapas, considerando períodos de retorno superior a 1000 años.
5. No se recomienda construir ninguna obra transversal (muros simples, muros gavión, muros de mampostería, pequeñas presas de machones), para romper el pico de las avenidas o para detener socavones en la zona torrencial, ya que el flujo tiene la energía suficiente como para romper las estructuras y provocar mayores daños aguas abajo. Es más importante en este momento, desde el punto de vista técnico, reforestar o poner barreras naturales (vegetación endémica y árboles nativos de la zona).
6. No se recomienda construir ningún tipo de bordos tanto desde el punto de vista técnico como económico en las márgenes del río Coatán, especialmente en la zona urbana.
7. Es necesario reforestar la parte alta de la cuenca del río Coatán, aproximadamente 9000 ha, así como impulsar un convenio con el gobierno de Guatemala que permita realizar un proyecto conjunto que mejore la situación ambiental de dicha cuenca internacional, en su parte alta.

**Agradecimientos** Se agradece a la Universidad Autónoma de Chiapas, quien aportó los recursos económicos para financiar este proyecto.

## REFERENCIAS

- CNA (2004) *Ley Federal de Aguas Nacionales y su Reglamento*. Comisión Nacional del Agua, México, D.F.
- INEGI (2000) *Integración territorial del XII censo general de población y vivienda 2000*. Resultados para el estado de Chiapas. Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática, México, D.F.
- Lawrence, M. B., Avila., L. A., Beven., J., Franklin., J. L., Pasch, R. J. & Stewart, S. R. (2005) Atlantic Hurricane Season of 2003. *Monthly Weather Review* **133**(6), 1744–1773.
- Mundo, M. M., Nájera, B. F., Ballinas, A. R., Altuzar, D. J., Ballinas, L. J., Cano, A. F., Serrano, Z. J. & Sandoval, T. O. (2005) *Cuenca Coatán. Identificación y delimitación de áreas de riesgo por inundación. Propuesta y simulación de alternativas. Análisis de costo beneficio de las alternativas propuestas*, vol. 1. Informe del Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la UNACH para la Comisión Nacional del Agua. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Mundo, M. M., Nájera, B. F., Ballinas, A. R., Altuzar, D. J., Ballinas, L. J., Cano, A. F., Serrano, Z. J. & Sandoval, T. O. (2005) *Sistema de alerta temprana. Cuenca Coatán*, vol. 6. Informe del Centro de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la UNACH para la Comisión Nacional del Agua. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.