

PROBLEMÁTICA DE INUNDACIONES EN ZONAS URBANAS Y PROPUESTAS DE SOLUCIÓN DESDE UN ENFOQUE MATEMÁTICO

Rodríguez Varela José Manuel, Alcocer Yamanaka Víctor Hugo, Albornoz Góngora Pedro Misael, Llaguno Guilberto Oscar Jesús, Maldonado Silvestre Juan

1. ANTECEDENTES

En México, la problemática de inundaciones en algunas ciudades es recurrente, ante la carencia de programas y acciones que permitan mitigar este problema, sus efectos se ven reflejados generalmente en la ciudadanía e infraestructura más vulnerable y suelen producir severos daños a la población, vías de comunicación, a la infraestructura urbana, hidroagrícola, fauna, así como a diversas actividades económicas e incluso pueden ocasionar pérdida de vidas humanas.

Entre los factores a considerar en las inundaciones están: la distribución espacial de la lluvia, la topografía, las características físicas de los arroyos y ríos, la pendiente del terreno, la pérdida de cobertura vegetal, el uso de suelo, la basura dejada en las calles, la invasión de la gente en las zonas inundables, la expansión de la mancha urbana sin planificación.

Asimismo, cuando en un río se incrementa en poco tiempo la cantidad de agua que fluye en su cauce, ya sea por el ingreso de agua de la lluvia o por las descargas de una presa, se dice que se ha producido una avenida; ésta podría originar la inundación cuando el nivel de agua del río se excede en las elevaciones de las márgenes de su cauce. Dependiendo de la rapidez con que se presenta el cambio en la cantidad de agua se puede hablar de avenidas súbitas, las cuales tienen un fuerte efecto destructivo debido a que concentran en un lapso corto una gran cantidad de agua con una fuerte velocidad, que las hace muy destructivas. En consecuencia, es importante considerar no sólo el tirante del agua, sino también la velocidad que ésta lleva.

Derivado de lo anterior, el presente trabajo presenta una metodología para la generación de mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo generados por inundaciones, con lo que es posible determinar los daños ocasionados por lluvias para diferentes periodos de retorno.

2. PROBLEMÁTICA

De acuerdo con Alcocer Yamanaka et al., 2012, los componentes para implementar un programa para el manejo de aguas pluviales se divide en cuatro fases (véase Ilustración 1):

- 1) La identificación de la problemática que genera las inundaciones.
- 2) El análisis hidráulico e hidrológico de la zona en estudio.
- 3) La selección adecuada de las herramientas de cálculo para la generación de un modelo de simulación.
- 4) Y el análisis de los escenarios de inundación para los diferentes periodos de retorno, generando las posibles soluciones que permitan mitigar los problemas de inundación.

Manejo Integral de las Aguas Pluviales.



Ilustración 1. Componentes de un programa para el manejo integral de las aguas pluviales.

En un estudio realizado en la ciudad de Chetumal Quintana Roo, (Rodríguez et al, 2012), se determinó que un grave problema que propiciaba la inundación es el nivel freático somero, que en algunas zonas de la ciudad se encuentra a dos metros de profundidad. Asimismo la presencia de basura o material producto de construcción de obras viales o casas en rehabilitación sobre las calles (véase Ilustración 2).



Material de cascajo o demolición de muros



Material producto de excavación de pozos de absorción



Basura de plátano obstruye rejilla de piso



Basura de hojarasca y botellas obstruyen rejilla de banqueta

Ilustración 2. Drenaje deficiente por arrastre de materiales: excavación, cascajo y presencia de basura.

En el Estudio de Riesgo de inundaciones en zonas urbanas de la República Mexicana (Rodríguez et al, 2014), se llevó a cabo el desarrollo de una metodología para determinar los mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundaciones; esta metodología se aplicó a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. En los recorridos de campo (véase Ilustración 3) se constata que la invasión por parte de la población a los cauces naturales de ríos y arroyos es recurrente y ponen en peligro la vida de estas personas, sus bienes materiales y el daño mismo a la infraestructura hidráulica (véase Ilustración 4).

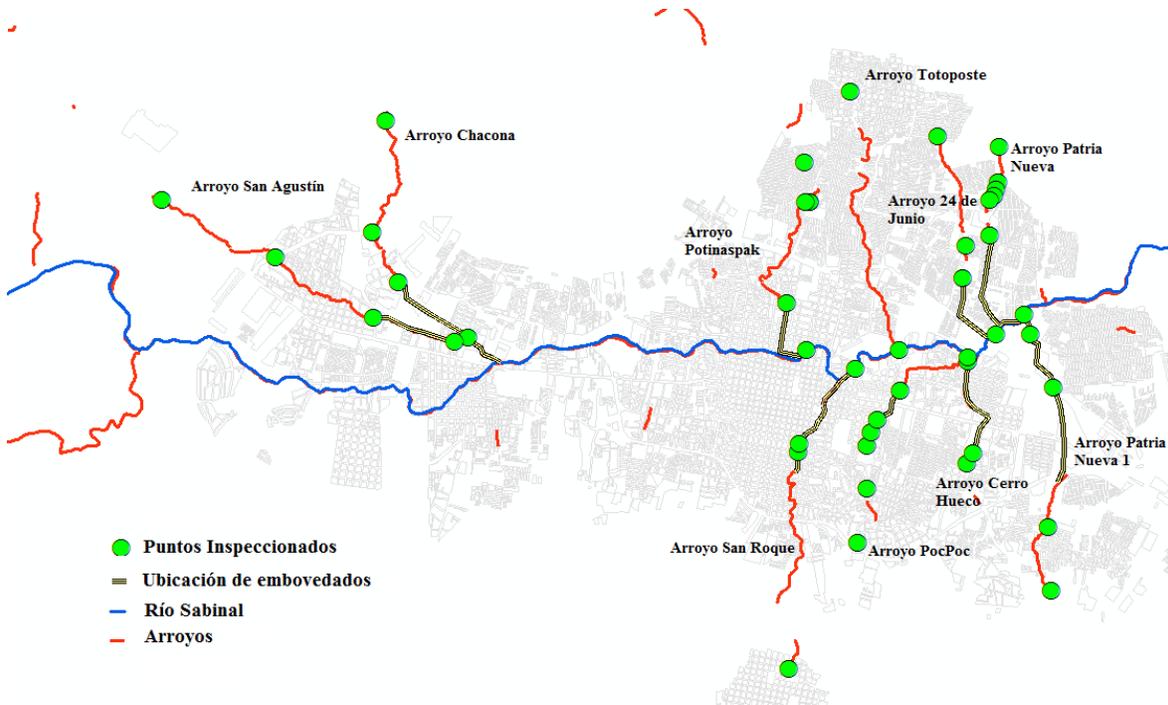


Ilustración 3. Recorridos en los arroyos que descargan sus aguas al río Sabinal, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.



a) Casa habitación construida sobre el arroyo Potinaspak, en la av. 18 de noviembre casi esquina con 12 de octubre, con daño estructural por efecto de los escurrimientos de agua.



b) Calle San Juan esq. 16 de septiembre, pérdida del cauce del arroyo Potinaspak, debido a la urbanización.



c) Parte alta de la cuenca del arroyo Santa Ana, por la Av. Pino Suárez, entre las avenidas Álamos y Fresnos, se observa la erosión generada por el escurrimiento de la lluvia en las calles.



d) Parte alta de la cuenca del arroyo Santa Ana, entre las avenidas Álamos y Fresnos, erosión de la calle debido a las altas velocidades del escurrimiento de agua.



e) Parte trasera de la Iglesia ya presenta cuarteaduras, construida sobre el cauce del arroyo San Roque.



f) Construcción invadiendo el lecho del arroyo El Arenal.



g) Casa habitación construida sobre el arroyo El Arenal que presenta daños por efecto del escurrimiento del agua, ubicada en Av. 5ta Sur casi esquina con Calle 8va Sur.



h) Otra vista de la casa anterior

Ilustración 4. Problemática encontrada en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

3. PROPUESTA DE ANÁLISIS Y SOLUCIÓN A LAS INUNDACIONES CON AYUDA DE UN MODELO MATEMÁTICO

Se propone una metodología con el desarrollo de modelos matemáticos en una dimensión y dos dimensiones; esto permite considerar la infraestructura pluvial de la ciudad, el escurrimiento en calles y el escurrimiento fluvial de forma integral; de esta forma se pueden obtener los mapas de peligro (véase Ilustración 5). Asimismo tomando en cuenta la información contenida en los AGEB generados por el INEGI, se proponen criterios para determinar los mapas de vulnerabilidad de las personas con más de 60 años y niños menores de cinco años como más desprotegidos y, el tipo de casas como su construcción (véase Ilustración 6); por último con base en los dos mapas anteriores se genera el mapa de riesgo de inundación de la ciudad para diversos periodos de retorno (véase Ilustración 7).

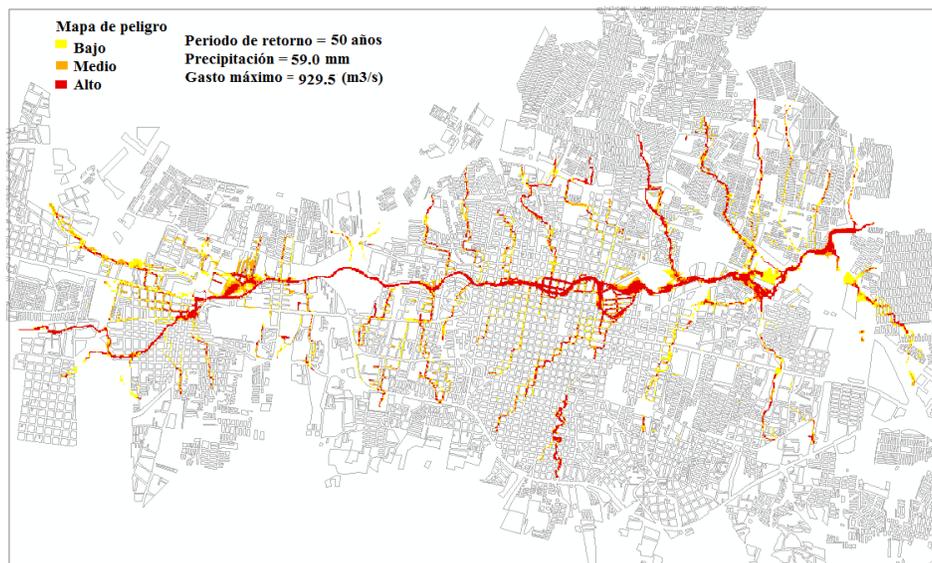


Ilustración 5. Mapa de peligro para un periodo de retorno de 50 años.

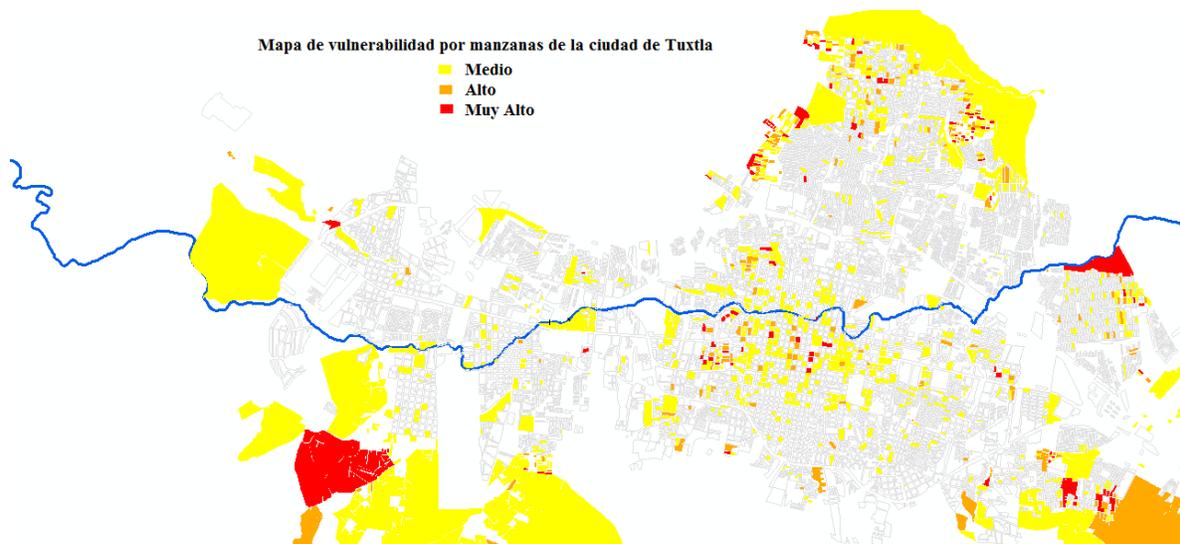


Ilustración 6. Mapa de vulnerabilidad de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, considerando la edad de la población y las viviendas con piso de tierra.

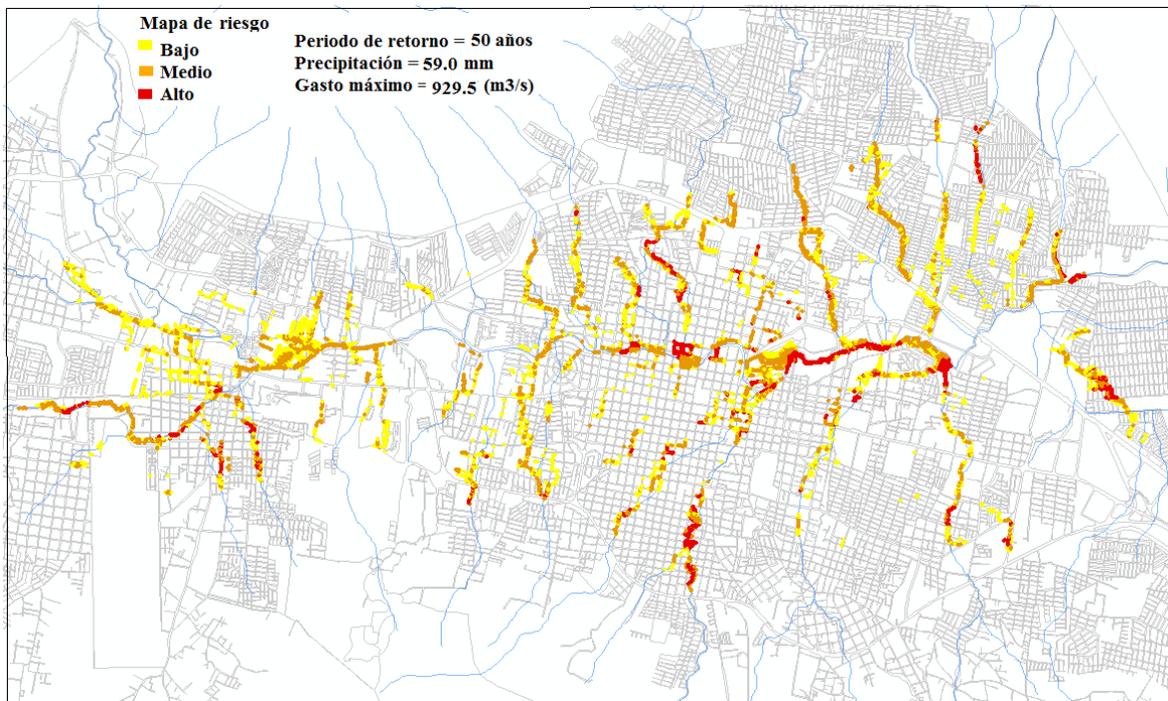


Ilustración 7. Mapa de Riesgo por inundación para un periodo de retorno de 50 años.

La ventaja de esta herramienta, es que permite determinar los costos por daños derivados de las inundaciones de acuerdo al periodo de retorno analizado. En la Tabla 1, se muestra una comparación de costos por daños, determinada por el Instituto de Protección Civil de Chiapas, de acuerdo a las experiencias en campo que ellos han venido desarrollando; asimismo, se indican los costos por daños determinados a partir del modelo matemático en una dimensión y dos dimensiones (1D-2D).

Tabla 1. Comparación de costos por daños generados por las inundaciones de acuerdo al análisis realizado por el Instituto de Protección Civil y el modelo de simulación 1D-2D.

Periodo de retorno TR en años	Costos por daños calculados por el Instituto de Protección Civil (\$ en millones de pesos)	Costos por daños calculados con el modelo 1D- 2D (\$ millones de pesos)	Gasto en (m ³ /s) considerado en el análisis de daños por el Instituto de Protección Civil	Gasto (m ³ /s) calculados con el modelo 1D- 2D
2		\$103.19		130.5
5	\$187.40	\$180.74	234	283.7
10	\$316.10	\$240.29	358	406.7
20	\$405.30	\$320.76	494	558.7
50	\$477.80	\$420.26	689	929.5
100	\$524.10	\$498.56	846	1052.0
200		\$522.75		1318.5
500	\$625.20	\$642.77	1243	1705.0
1000	\$668.30	\$697.01	1423	2026.0

Con base en los resultados del modelo, es posible proponer acciones estructurales que permitan mitigar los problemas de inundación en la ciudad y evaluar los beneficios de dichas acciones.

4. Bibliografía

- Alcocer-Yamanaka V. H., Rodríguez Varela J. M., Albornoz Góngora P.M., Maldonado Silvestre J, López Orozco J. A., Alonso Ovando J. A, Vidal Russi H. Quiñones Baas J. R. (2012). Manejo Integral del Agua Pluvial. *Revista Agua QRoo*, 8.
- Google Maps. (s.f.). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com.mx/maps/>
- Rodríguez Varela J. M., Alcocer Yamanaka V. H., Albornoz Góngora P. M., Santos Téllez R. U., Llaguno Guilberto O. J. (2014). *Estudio de Riesgo de inundaciones en zonas urbanas de la República Mexicana*. Jiutepec: Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua, CONAGUA, CONACYT, IMTA.
- Rodríguez Varela J. M., Maldonado Silvestre J. Albornoz Góngora P. M., Alcocer Yamanaka V. H. (2012). *Manejo del Agua Pluvial en Chetumal*. Jiutepec: IMTA.