
Evaluación de peligro por inundación en Xalapa, Veracruz, México

Flood Hazard Assessment in Xalapa, Veracruz, Mexico

Selene Janitzio Pérez Córdova^a–Carlos Manuel Welsh Rodríguez^b

^a Universidad Veracruzana. Contacto: lunajanitzio@gmail.com

^b Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, Xalapa, México.
Contacto: cwelsh@uv.mx

Recibido: 27 de enero de 2020

Aceptado: 17 de junio de 2020

RESUMEN: Los datos físicos espaciales, hidrológicos, meteorológicos y económicos, forman parte de los componentes esenciales para generar una buena gestión, adaptación y aprendizaje ante las inundaciones en el marco de una gestión integral del riesgo. Los impactos de las inundaciones han aumentado a nivel mundial dejando a su paso cada vez daños que son difíciles de superar en el ámbito económico y social. Quizás aquellas regiones con una mayor vulnerabilidad, pobreza y niveles medio-bajos de desarrollo enfrentan retos aún mayores, puesto que hay una evidente carencia de información y monitoreo que permita delimitar áreas de peligro. El documento presenta una evaluación de las inundaciones para la ciudad de Xalapa, Veracruz, se emplea un análisis hidrológico (procedimientos de transformación de lluvia en escorrentía) a nivel de cuenca, por medio de un análisis de lluvias máximas con hidrogramas unitarios. Con el objeto de contribuir a conocer escenarios posibles de inundación para Xalapa.

Palabras clave: Inundaciones; peligro; desastres

ABSTRACT: Spatial, hydrological, meteorological and economic physical data are essential components for good flooding management, adaptation and learning within the framework of comprehensive risk management. The impacts of floods have increased globally, leaving in their wake damage that is difficult to overcome in the economic and social fields. Perhaps those regions with greater vulnerability, poverty and lower-middle levels of development face even greater challenges, since there is a clear lack of information and monitoring to identify areas of hazard. The document presents a flood assessment for the city of Xalapa,

Veracruz, using a hydrological analysis (processes of transformation of rain into runoff) at the basin level, by means of an analysis of maximum rainfall with unit hydrographs. In order to contribute to the knowledge of possible flood scenarios for Xalapa.

Keywords: Floods; Hazard; Disasters.

Introducción

La frecuencia del peligro de inundación ha tenido gran relevancia debido a los impactos devastadores en el sistema social y económico (Schipper y Pelling 2006). Sin embargo, aún existe información limitada, así como falta de intervención para la preparación oportuna ante los desastres (Kabenge, Elaru, & Wang, 2017). Dentro de las iniciativas que se tienen a nivel municipal están el Atlas de Riesgo y los Planes de Protección Civil, pero son demasiado ambiguos, ambos carecen de detalles espacio-temporales precisos de escala local que son necesarios para la intervención. Además carecen de una visión integrada del problema, son instrumentos desde el gobierno en sus diferentes administraciones (federal, estatal y local), que coadyuvan a la vertebración de una estrategia única, sin embargo hay nula o poca intervención de la sociedad y el gobierno municipal elementos claves para la gestión integral del riesgo, puesto que estos dos actores son los principales gestores de la planificación del espacio a nivel local y a largo plazo (Calvo-Rubio, 2000; Bulkeley *et al.*, 2011). Además, la falta de información de uso de suelo, hidrológica y meteorológica, dificulta la gestión y la respuesta antes los desastres (Lamond & Penning-rowsell, 2014; Schanze *et al.*, 2006).

Con base en esta premisa, la presente investigación tiene como finalidad, la evaluación del peligro y la introducción a una metodología a escala local de la ciudad de Xalapa ante eventos de inundación, que permita una adecuada gestión del desastre asociado.

1. Inundaciones

Las inundaciones es el más común de los peligros naturales en América latina y resto del mundo, puesto que en múltiples ocasiones termina en pérdidas y daños económicos que sufre el sistema urbano, por los eventos que interactúan con las zonas vulnerables donde se

desestabiliza el funcionamiento normal y se convierte en un desastre (Escuder-Bueno *et al.*, 2010; Lavell *et al.* 2012; Cutter *et al.* 2012). Por su ubicación México, es un país con grandes contrastes, se ubica entre los océanos: Atlántico (Golfo de México) y Pacífico, que favorece una gran variabilidad climática, junto con una topografía muy compleja, con valles y montañas, que permiten entender la sensibilidad del riesgo de desastre (Portilla *et al.*, 2005; Cavazos, 2015). Para América latica del 2008-2017 corresponde al 36.3 % de pérdidas económicas por inundación (EM-DAT, 2019). Tales eventos se asocian a las lluvias torrenciales que generan los ciclones tropicales que han aumentado a nivel internacional, sin embargo, es muy difícil calcular los daños directos sobre la infraestructura, los servicios, vivienda, los ecosistemas, la calidad de vida y el nivel cultural (Lavell *et al.*, 2012).

Eventos en la ciudad de Xalapa

En las últimas tres décadas las inundaciones se han incrementado de manera considerable en la ciudad de Xalapa, los meses en los que se presentan estos eventos va de mayo a septiembre. Las inundaciones han causado daños a la población (afectando no solo su salud, sino pérdida de bienes materiales y colapsando servicios vitales). No obstante, aún sigue siendo ineficiente la información disponible, ya que no se cuenta con una base de datos confiables sobre los eventos que se han producido y muchos menos con una estructura y un programa de alcance a corto, mediano y largo plazo (Hernández, 2013). La problemática se convierte además en un serio inconveniente de sanidad por la contaminación de los cuerpos de agua como es el rio Carneros, Papas, Sordo y Sedeño. Junto con una planificación urbana inexistente que ha permitido un crecimiento urbano desordenado (Hernández, 2013). La siguiente tabla (1), muestra los eventos que causaron inundaciones en el Municipio de Xalapa, además de eventos que fueron declarados emergencia de desastre. Sin embargo, las declaratorias no mencionan las colonias que fueron afectadas y hay bases de datos incompletas en Protección Civil. Pero cada evento se cotejo en los medios de comunicación como la Jornada y Desinventar (plataforma web que compila información de desastres).

Tabla 1.

Registro de inundaciones y declaratoria de emergencia en el Municipio de Xalapa 2005-2012.

Año	Eventos por fenómenos hidrometeorológico en el Municipio de Xalapa, Veracruz 2005-2012	Fecha	Precipitación Máxima Diaria (mm)
2005	-El municipio fue declarado en desastre debido a la entrada del Ciclón Tropical “Stan”.	5/10/2005 -7/10/2005	77.4
2005	-Tormenta Tropical José originó inundaciones y lluvias atípicas	22/08/2005- 24/08/2005	105.6
2006	-Desastre por lluvias extrema	28/05/2006-	29.8
	-Municipio fue declarado zona de desastre por la onda tropical No. 22	31/05/2006 03/08/2006	53.2
2007	-Los huracanes Dean y Lorenzo deja al Municipio en Emergencia.	23/08/2007- 27/08/2007	47.6
2008	-Desastres por lluvias atípicas	4/06/2008- 10/06/2008	69 -26.4
	-Frente frío No. 1 y Onda tropical No. 30	08/09/2008	49
2009	-Inundación de 26 colonias por la Onda Tropical número 29.	24/06/2009 27/06/2009	91.4 10.7
2010	-Onda Tropical número 17 y 18.	27/07/2010	18.7
2011	-La Tormenta Tropical José.	03/07/2011	23.3
	-Tormenta tropical Arlene.	13/09/2011	11.6
2012	-Lluvias torrenciales	07/04/2012	23

Fuente: Elaboración propia con datos de Protección Civil, Xalapa y Atlas de Peligros Naturales y Antropogénicos del Municipio de Xalapa, Veracruz, 2009, La Jornada y Desinventar (plataforma web que compila información de desastres).

2. Determinación de las características físicas de *La Lagunilla*, precipitación promedio anual y volumen de escurrimientos pluviales.

El Municipio de Xalapa tiene una superficie de 124.4 km² y representa el 0.17% del estado de Veracruz, tiene 55 localidades de las cuales cinco son urbanas y 50 rurales. Se localiza entre los paralelos 19° 29' y 19° 36' de latitud norte; los meridianos 96° 48' y 96° 58' de

longitud oeste; altitud entre 700 y 1600 msnm de acuerdo con INEGI. En sus límites colinda al norte con los municipios de Banderilla, Jilotepec y Naolinco; al este con los municipios de Naolinco y Emiliano Zapata; al sur con los municipios de Emiliano Zapata y Coatepec; al oeste con los municipios de Coatepec, Tlalnahuayocan y Banderilla (figura 1).

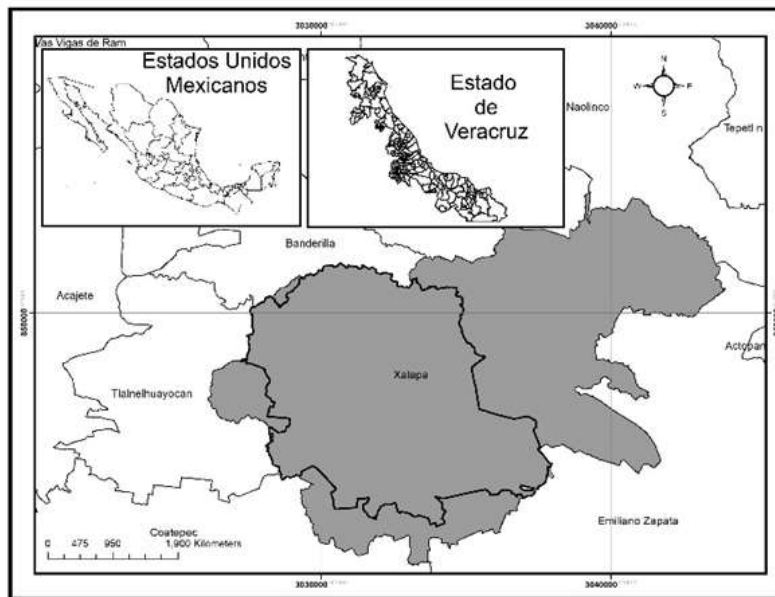


Figura 1. Ubicación del municipio de Xalapa, Veracruz. Fuente: elaboración propia con datos de INEGI.

La ciudad de Xalapa tenía 502,151 habitantes en el 2017 que representa el 6.15% de la proporción estatal y una tasa de crecimiento del 2010 al 2015 del 1.03% (Municipales, 2016). La mayor parte de la población se dedica al sector terciario que es el comercio, transporte, administración pública, educación, etc. y representa el 80.9%, mientras que 15.7% al sector secundario que corresponde a la construcción, industria y energía. El resto a la agricultura y ganadería con 1.6 %, que es el sector primario.

Xalapa pertenece a la región hidrológica del Papaloapan, donde se encuentran las cuencas de los ríos Jamapa, la Antigua y Actopan. El escurrimiento medio anual en la Región es de 98,930 hm³. Los ríos que cruzan son el Carneros, Papas, Sordo y Sedeño, la mayoría reciben descargas de aguas residuales generalmente sin tratar y el grado de contaminación limita el aprovechamiento del recurso para ciertos usos (García, 2006 & PACMUN, 2014).

3. Metodología

Para identificar las áreas de peligro de inundación fue necesario utilizar los datos de series temporales y eventos de precipitación a partir de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF). Es decir, la intensidad (I) o magnitud de la lluvia fuerte expresada en mm/h, para una duración (D) que es determinada usualmente en minutos, donde se estima la probabilidad de ocurrencia o frecuencia (F) expresada en años y también conocida como periodo de retorno (Calvo-Rubio, 2000). Donde involucra, el análisis hidrológico que permite la transformación de lluvia-escorrentía, de infiltración, de propagación de cauces, de laminación, etc. Convolucionando las tormentas con hidrogramas unitarios (Calvo-Rubio, 2000). Para la zona urbana de Xalapa se utilizó dos periodos de retorno (Pt) de 10 y 50 años con los valores de la tabla (3).

Tabla. 3. Valores de las intensidades para diferentes duraciones y períodos de retorno.

T(min)	Tr 10 (mm/h)	Tr 50 (mm/h)
10	151.298	259.431
30	92.683	158.924
60	68.033	116.656
90	56.777	97.355
120	49.939	85.63

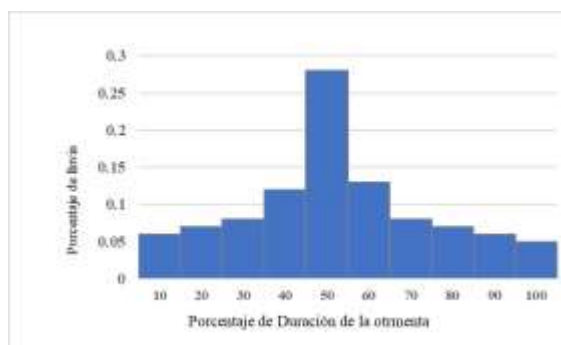


Figura 2. Hietograma de Diseño Zona Metropolitana de Xalapa. Fuente: García, 2006.

El *hietograma* de diseño para la ciudad de Xalapa de la figura (2); es la precipitación recogida en intervalos regulares de tiempo que interpreta una tormenta; el primer intervalo es de 6% de lluvia, hasta llegar al máximo de 28% y disminuye 5%. Tomando en cuenta, los valores de la tabla 3 y la figura 2, se obtiene los *hietogramas* que se procesaron en Hydrologic Modeling System (Hec-Hms), con el método de “SCS Curve Number” (Figura 3 y 4). Que sirvieron para generar los *hidrogramas unitarios*, que es el escurrimiento correspondiente a un volumen unitario expresado en Q(volumen/tiempo), que proviene de una lluvia con determinada duración (t) horas, minutos, segundos, etc y muestra el comportamiento del fluido sobre el cauce, que puede tener forma compleja por la geometría y la geomorfología en el caudal de la cuenca hidrográfica y muestran la pérdida de precipitación en metro cúbico sobre segundo, (Calvo-Rubio, 2000).

Se obtuvo la subcuenca perteneciente a la red hidrográfica del río Sedeño en *Arc Gis 10.5*, con el Modelo Digital de Elevación (MDE) con Imágenes Lidar de 5 cm de resolución. Posteriormente se realizó el análisis o procesos, que permiten determinar el área y altura de inundación, mediante la introducción de hidrogramas unitarios. Sin embargo, la entrada del hidrograma que se ubicó en la parte alta de subcuenca y la salida en la parte baja. Cada proceso anteriormente mencionado se realizó en *Iber* que es un modelo matemático bidimensional desarrollado por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC) y el Instituto FLUMEN (Universidad Politécnica de Catalunya, UPC, y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, [CIMNE](#)).

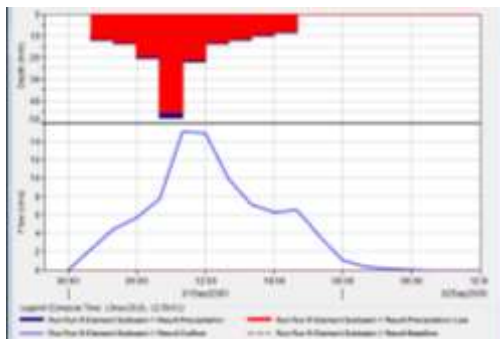


Figura 3. Hietograma Pt 50 años.
Fuente: elaboración propia con datos de García, 2006

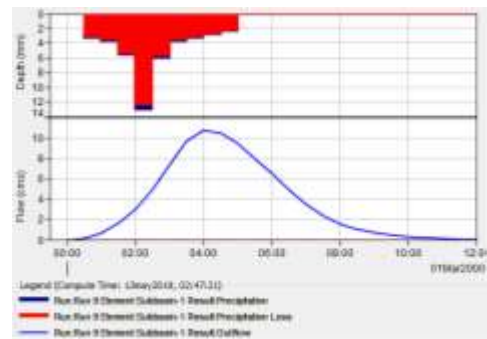


Figura 4. Hietograma Pt 10 años.
Fuente: elaboración propia con datos de García, 2006

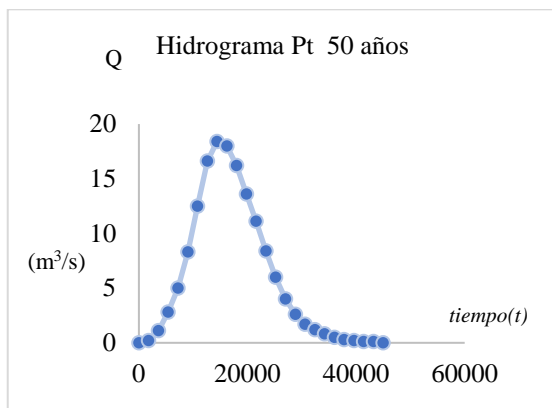


Figura 5. Hidrogramas Unitario Pt 50 años de la ciudad de Xalapa, Veracruz. Fuente: Elaboración propia.

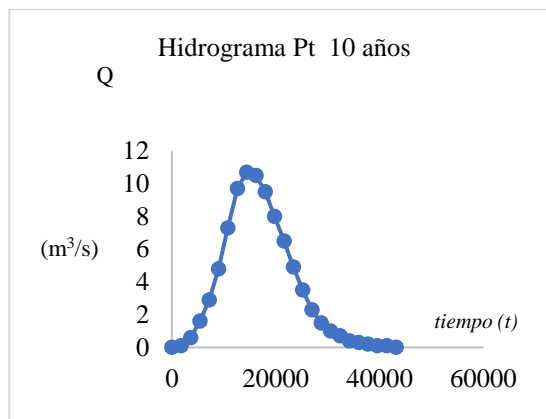


Figura 6. Hidrogramas Unitario Pt 10 años de la ciudad de Xalapa, Veracruz. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.

Componentes para la obtención del peligro de inundación

Categoría	Componentes	Escala	Fuente
Climáticas	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación (1980-2010) • Precipitación Máxima Mensual • Temperatura Máxima Mensual 	1: 50,000	CONAGUA
Físicas	<ul style="list-style-type: none"> • Geomorfología de Terreno • Pendiente del cauce 	1:10,000	Imágenes LIDAR
Marco Geoestadístico Nacional	<ul style="list-style-type: none"> • Estado • Localidades Urbanas 	1:50,000	INEGI

Fuente: elaboración propia.

4. Resultados

Para el análisis espacio temporal de la precipitación y la temperatura de la ciudad de Xalapa, se utilizaron cinco estaciones meteorológicas georreferenciadas muestran la precipitación máxima mensual. Se obtuvo el climograma y el mapa de isoyetas para el período 1980-2010 (figura 7 y 8). Están localizadas en los municipios de Jilotepec, Coatepec, Emiliano Zapata y dos estaciones dentro de la ciudad de Xalapa. Muestran que los meses de mayo a septiembre se tiene mayor presencia de lluvias, las estaciones ubicadas al noroeste registraron 329 a 279 mm, en la parte sureste, 230-205mm de precipitación máxima mensual. Aunque en los últimos años han existido episodios de alta concentración de lluvia en un mínimo de tiempo, estos no son objeto del presente trabajo.

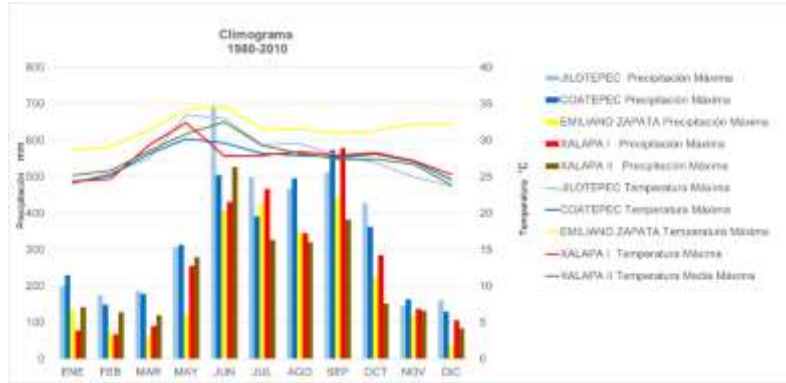


Figura 7. Climograma de Precipitación máxima mensual (1980-2010). Fuente: Elaboración propia con datos de Comisión Nacional del Agua (CNA).

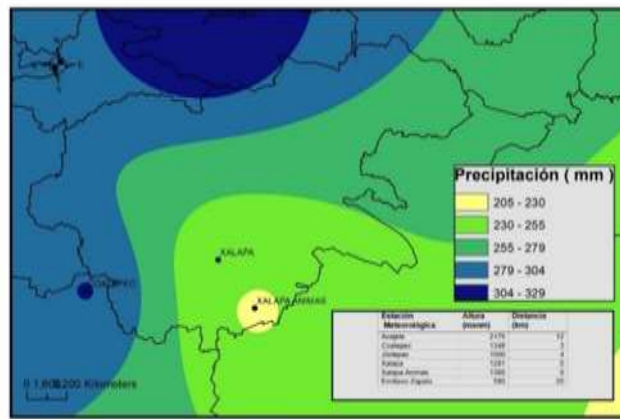


Figura 8. Distribución espacial de la precipitación máxima mensual (1980-2010). Fuentes: Elaboración propia con datos de CNA.

Con la aplicación de los hidrogramas de las figuras 5 y 6, es mayor para un Pt de 50 años, donde alcanza 18.4 m³/s, de máxima, mientras que 10.5 m³/s para Pt de 10 años. El modelo hidráulico en *Iber*, permitió obtener el área y la altura del agua, la simulación se realizó para la zona norte de la ciudad sobre el río Sedeño, donde se localizan las colonias que con mayor frecuencia de inundaciones son: la Revolución con 29 inundaciones, la salud con 11, y la lagunilla con 10 (Moguel *et al.*,2012). Gracias a la simulación se obtuvo un traslape entre áreas previamente inundadas y aquellas que generó el modelo, esto confirma la hipótesis de factores físicos y sociales como elementos clave en la atención a los desastres. Para un evento con una Pt de 50 años, muestra un área de afectación más grande que para el Ptde 10 años, situación que confirma un escenario más complicado para el futuro en esa zona.

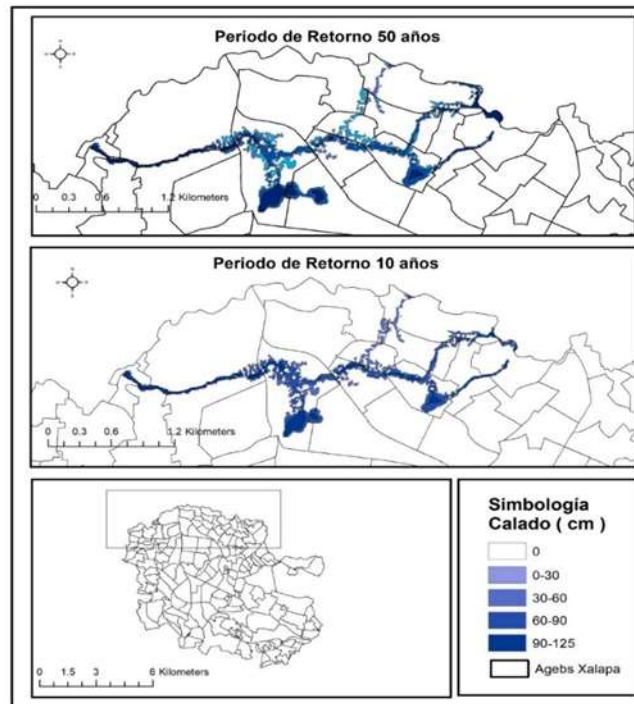


Figura 9. Altura de la inundación en norte la ciudad de Xalapa, Veracruz.

Fuente: elaboración propia

5. Conclusiones

Los principales factores que contribuyen a las inundaciones se clasifican en hidrológicos, meteorológicos y antropogénicos (CENAPRED, 2006). De acuerdo con Cavazos (2015), los elementos que determina la vulnerabilidad social, es la falta de planificación y su implementación en el desarrollo social y económico, poblacional en zonas de peligro, sistemas de drenaje pluvial incompletos o inexistentes en el caso de áreas urbanas, pobreza y desigualdad social y las pocas o nulas estrategias para la prevención de desastres.

La ciudad de Xalapa parece ser el estudio de caso donde las premisas previas se cumplen, ya que cumple con todos los elementos antes mencionados; las colonias que presenta un mayor número de inundaciones corresponden a las colonias con muy alta y alta marginación de acuerdo con la CONAPO (2010). Es por ello, para las agendas de gestión de desastres, no solo

para ciudad de Xalapa sino en el resto del país, es necesario contar con información a nivel local detallada, además de la actualización de datos con los principales eventos y entender que se necesita un trabajo permanente de participación social y administrativa que permita una mejor gestión de desastres antes inundaciones.

La utilización y aplicación de modelos hidrológicos para el estudio de las inundaciones son una herramienta fundamental. Sin embargo, la calidad de los resultados obtenidos depende de la calidad de los datos utilizados en el proceso. La aplicación de un sólo modelo es muy complejo y ambicioso, se necesita un trabajo interdisciplinar desde una perspectiva de cuencas con la intervención de la autoridad municipal, la sociedad y la academia para generar un veredero plan de acción, que sea dinámico y actualizado constantemente antes los efectos del cambio climático sobre la precipitación aunado a los eventos extremos. Se debe tener presente que cualquier evaluación a nivel de cuencas debe incluir la gestión política como un factor fundamental y en la parte técnica sería conveniente contar con mapas de peligro para distintos periodos de retorno de 100, 200 y 500 años. Además de contar con Observatorios Hidrológicos a nivel de cuencas como el del Instituto de Ingeniería de la UNAM que cuenta con 55 estaciones para monitorear en tiempo real la precipitación en la CDMX (OH-IIUNAM, 2020).

Referencias

- Bulkeley, H., Schroeder, H., Janda, K., Zhao, J., Armstrong, A., Chu, S.Y., Ghosh, S (2011). The role of institutions, governance, and urban planning for mitigation and adaptation. In: Cities Clim. Change. The World Bank, pp. 125-159.
http://elibraryworldbank.org/doi/abs/10.1596/9780821384930_CH05.
- Calvo-Rubio, Francisco. (2000). Necesidad de una visión integral del problema de inundaciones. Riesgos de Inundación y Régimen Urbanístico del Suelo. Consorcio de Compensación de Seguros. 357p.
- Cavazos, T. (Ed.), (2015). Conviviendo con la Naturaleza: El problema de los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en México. REDESClim, México, Ediciones ILCSA, 143 p.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2006). Conceptos Básicos sobre Peligro Riesgo y su Representación Geográfica en: Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. 87 p.
<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/44.pdf>

- Cutter, S., Burton, C., Emrich, C. (2010). Disaster resilience indicators for benchmarking baseline conditions, *J. Homel. Secur. Emerg. Manag.* pp. 2-22.
http://resiliencesystem.com/sites/default/files/Cutter_jhsem.2010.7.1.1732.pdf
- EM-DAT (2018). Natural Disaster an Opportunity to Prepare. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). Natural Disasters 2018. https://emdat.be/sites/default/files/adsr_2018.pdf
- Escuder-Bueno, I., Zechner, S., Petaccia, G. (2012). System Sciences A quantitative flood risk analysis methodology for urban areas with integration of social research data, 2843-2863. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-2843-2012>
- Escuder-Bueno, I., Castillo-Rodríguez, J. T., Zechner, S., Jöbstl, C., Perales-Momparler, S., and Petaccia, G. (2012). A quantitative flood risk analysis methodology for urban areas with integration of social research data, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 2843–2863, doi:10.5194/nhess-12-2843.
- García, Antonio (2006). Hietogramas de Diseño en Zonas Urbanas. División De Ciencias Básicas E Ingeniería Departamento De Ingeniería De Procesos E Hidráulica Ingeniería Hidrologica. Mexico. 76 p.
- Hernandez, Berenice.(2013). Vulnerabilidad frente a eventos hidrometeorológicos en escenarios de cambio climático: la inundaciones en la ciudad de Xalapa, Veracruz. El Colegio de Veracruz. Centro de Estudios Demográficos Urbanos y Ambientales. Mexico. 125p.
- Kabenge, M., Elaru, J., & Wang, H. (2017). Using a remote sensing and GIS-based floodhazard index. *Natural Hazards*, 89(3), pp. 1369–1387. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3024-y>
- Lamond, J., & Penning-rowsell, E. (2014). Climate Risk Management The robustness of flood insurance regimes given changing risk resulting from climate change. *Climate Risk Management*, 2, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2014.03.001>
- Moguel, A., Tejeda Martínez, A., Garcia, V. (2012). Propuesta para evaluación de riesgos por inundación: caso Xalapa Veracruz. En Tejeda Martínez, Virgilio Arenas, Las inundaciones 2010 en Veracruz. La biosfera, escenarios y herramientas, Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico, Mexico.
- Cuadernillos Municipales, C. (2016). Xalapa. Sistema de Información Municipal, Xalapa, Veracruz. Gobierno del Estado de Veracruz.
<http://ceieg.veracruz.gob.mx/wpcontent/uploads/sites/21/2016/05/Xalapa.pdf>

- Lavell, A., M. Oppenheimer, C. Diop, J. Hess, R. Lempert, J. Li, R. Muir-Wood, and S. Myeong, (2012). Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. En: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Lamond, J., & Penning-rowsell, E. (2014). Climate Risk Management The robustness of flood insurance regimes given changing risk resulting from climate change. *Climate Risk Management*, 2, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2014.03.001>
- Observatorio Hidrológico del Instituto de Ingeniería UNAM. 2020. Disponible en: <https://www.oh-iiunam.mx/>
- Plan de Acción Climática Municipal Xalapa Enriquez. (PACMUN, 2014). ICLEI Gobiernos Locales por la Sustentabilidad. Instituto Nacional de Ecología Secretaría de Medio Ambiente. Gobierno del Estado de Veracruz. Consultora de Mitigación de Cambio Climático en la Unidad de Cambio Climático. México. 97p.
- Schipper, L., Pelling, M. (2006) Disaster risk, climate change and international development: scope for, and challenges to, integration. *Disasters*. pp 19-38.
- Schanze, J., Zeman, E., Marsalek, J. (2006). Flood Risk Management: Hazard Vulnerability, and Mitigation Measures. Springer, Dordrecht Schipper L., Pelling, M. (2006) Disaster risk, climate change and international development: scope for, and challenges to, integration. *Disasters*. pp 19-384. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2006.00304>.