

# PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS POR INUNDACIONES URBANAS: EL CASO DE XALAPA (MÉXICO)

Ana G. MOGUEL FLORES<sup>1</sup>, Adalberto TEJEDA MARTÍNEZ<sup>1</sup> y Víctor H. GARCÍA PACHECO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Climatología Aplicada, Universidad Veracruzana, México.

<sup>2</sup>Comisión Municipal de Agua y Saneamiento de Xalapa, México.

[anastacia\\_2915@hotmail.com](mailto:anastacia_2915@hotmail.com), [atejeda@uv.mx](mailto:atejeda@uv.mx), [vhgpacheco@gmail.com](mailto:vhgpacheco@gmail.com)

## RESUMEN

Se presenta un método de evaluación de los riesgos por inundaciones en la ciudad de Xalapa, Veracruz (México), a nivel de AGEBA (área geostatística básica). Se partió de los datos de precipitación acumulada en 24 horas del observatorio meteorológico de esa ciudad para el periodo 1985-2009. Se seleccionaron los eventos mayores a 20 mm de precipitación en 24 horas. En fuentes hemerográficas se recopiló información sobre las colonias (barrios) inundadas y las afectaciones que sufrieron. Las inundaciones fueron clasificadas, según su intensidad, en leves, moderadas, fuertes y muy fuertes, mediante un colorograma ajustado por un panel de expertos. Para evaluar el riesgo se usó la expresión clásica de *Riesgo = peligro x vulnerabilidad x valor*. El peligro se evaluó con el periodo de retorno y la orografía urbana; las variables indicadoras de vulnerabilidad fueron el material del piso de la vivienda, y la disponibilidad de agua potable, luz eléctrica y drenaje. El riesgo se separó en económico (evaluado a partir del uso de suelo y el tipo de vivienda) y el social, a partir de la densidad poblacional.

**Palabras clave:** Inundaciones, riesgo, peligro, vulnerabilidad.

## ABSTRACT

A method for assessing the risks of flooding in the city of Xalapa, Veracruz (Mexico) is presented to an AGEBA (basic geostatistical areas) level. The database used is formed by the accumulated precipitation in 24 hours collected from the meteorological observatory of Xalapa for the period 1985-2010 and only the events with a rainfall greater than 20 mm in 24 hours were selected. Information about flooded neighborhoods and damages was collected using newspaper sources. The floods were classified according to their intensity as weak, moderate, strong and very strong, using a technique in colors adjusted by the panel of experts. To assess the risk the equation *Risk = danger x vulnerability x value* was used. The danger was evaluated with the return period and the orography; for the vulnerability, the variables used were the material of the floor, and the availability of potable water, electricity and drainage. Economic risk was evaluated from land use and type of housing, for social risk the variable used was the population density.

**Key words:** Floods, risk, danger, vulnerability.

## 1. INTRODUCCIÓN

La UNESCO (1972) definió el riesgo como la posibilidad de pérdida de vidas humanas, bienes o capacidad de producción, y es el producto de tres factores:

$$Riesgo = peligro \times vulnerabilidad \times valor \quad \text{Ec. 1}$$

El *peligro* es la probabilidad de afectación por un evento con severidad suficiente durante un tiempo determinado (Undro, 1979). La evaluación del peligro se realiza combinando el análisis probabilístico con el análisis del comportamiento físico de la fuente generadora, para lo cual es fundamental la información lo más completa posible sobre los eventos que han ocurrido, su intensidad y los sistemas físicos involucrados (Maskrey, 1993).

El mismo autor define a la *vulnerabilidad* como la incapacidad de una zona para adaptarse a un cambio en su medio, la que a su vez determina la intensidad de los daños producidos al hacerse efectivo el riesgo. Torres *et al.*, (1993) comentan que el grado de vulnerabilidad de una población está relacionado con el nivel de desarrollo, tipo de viviendas, accesos a centro de salud, nivel educativo, calidad de la red carretera, grados diferentes de organización social, crecimiento poblacional sin planeación.

El *valor* se refiere al número de vidas humanas amenazadas o al monto de los elementos económicos expuestos al evento

La gestión y evaluación del riesgo en la planificación urbana es importante para mitigar los daños y víctimas causadas por los desastres, sean de origen natural o antrópico. La evaluación es una herramienta para separar, estimar y jerarquizar la importancia de un evento calculando cuantitativamente los impactos por los daños a viviendas, comercios, vidas humanas etc., derivados de la exposición a un desastre (Ebert *et al.*, 2009).

Sobre esas bases, conviene mencionar algunos trabajos precedentes referidos a la vertiente mexicana del Golfo de México, donde se ubica la ciudad de Xalapa. Tejeda *et al.* (1995) realizaron una estimación sobre riesgos hidrometeorológicos en centros urbanos del estado de Veracruz (México). Asociaron los niveles de peligro a través de la normalización de los valores máximos y mínimos históricos de siete variables meteorológicas: precipitaciones intensas, tormentas eléctricas, nieblas, granizadas, heladas y vientos intensos. Para la vulnerabilidad utilizaron unos *factores correlativos* (tipo de vivienda, localización, población, etc.). Encontraron que, en el contexto del estado de Veracruz, la ciudad de Xalapa se ubica en un valor medio de riesgos por precipitaciones intensas.

Garnica y Alcántara (2004) evaluaron el riesgo por inundaciones en el curso bajo del río Tecolutla, 120 km al norte de Xalapa. Calcularon los gastos máximos para periodos de retorno de 2, 10, 50, 100 y 1 000 años, y delimitaron las zonas de inundación a partir del modelo digital de elevación y percepción remota. Para la vulnerabilidad elaboraron un índice en el que se incluyeron 17 variables de población y vivienda del municipio de Tecolutla, donde desemboca el río. Encontraron que el nivel de riesgo por inundaciones dentro de esta zona es muy alto debido al régimen hidrológico y a las características morfológicas del terreno, aunados a los altos niveles de vulnerabilidad de la mayor parte de la población.

Partiendo de la ecuación dada por la UNESCO, Moguel-Flores *et al.* (2012) evaluaron el riesgo social y económico por inundación en la ciudad de Xalapa, Veracruz a nivel de colonias (un equivalente a los barrios en otras partes de Hispanoamérica). Encontraron que para el riesgo económico cerca del 50% de las colonias evaluadas están en un nivel de riesgo medio y para el riesgo social solo un 28% se encontraba en ese mismo nivel. A continuación se detallará la metodología usada en ese trabajo, posiblemente útil a otras ciudades de latitudes tropicales.

Para latitudes similares pero al otro lado del país, Juárez *et al.* (2006) evaluaron el riesgo social frente a desastres naturales en la Riviera Mexicana, en las costas occidental y sur frente al Océano Pacífico. Primeramente evaluaron la vulnerabilidad en función del nivel socioeconómico y las condiciones de vida de la población. El peligro fue calculado en base al registro histórico de los eventos

extremos más intensos. Se identificaron seis municipios con riesgo extremadamente alto y 22 municipios con niveles más altos de riesgo, lo que representa el 10% del territorio estudiado.

## 2. ZONA DE ESTUDIO

La ciudad de Xalapa se ubica a 70 km al poniente de la costa mexicana del Golfo de México, a 19,5°N y 96,9°W (Figura 1), en el parteaguas de dos importantes cuencas hidrológicas del centro del estado de Veracruz, la del río Actopan y la del río La Antigua (CNA, 1994). Presenta un clima semicálido húmedo con lluvias todo el año (1500 mm en promedio), el 80% de ellas en el semestre mayo-octubre (Pereyra *et al.*, 2000). La precipitación máxima en 24 horas que se tiene registrada es de 183.8 mm el 9 de agosto del 2000.



FIG. 1: Ubicación de la ciudad de Xalapa, capital del estado de Veracruz (área oscura).

La zona conurbada alrededor de Xalapa tiene aproximadamente 500 mil habitantes asentados en un territorio que va de 1300 a 1500 metros sobre el nivel del mar. Las actividades económicas dominantes son los servicios *ww*(comercio, burocracia, sector educativo) y mínimamente industrial.

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Revisión de datos periodísticos

Se analizaron los datos de precipitación acumulada en 24 horas del observatorio meteorológico de la ciudad para el periodo del 1985-2009. Se tomó como posible caso de inundación la precipitación diaria mayor a 20 mm. Este valor es la mitad de la precipitación media mensual del mes más seco. Los posibles casos de inundación se localizaron en periódicos impresos de circulación local (Diario de Xalapa, Diario AZ y La Jornada-Veracruz). También se buscó información en el Sistema de Inventario de Desastres (DESINVENTAR, <http://www.desinventar.org/>). Se capturó la información correspondiente a la fecha, nombres de las calles y colonias afectadas en cada caso de inundación, así como los daños materiales que se registraron. A través del Mapa Digital de México V5.0 (INEGI 2011) el análisis se realizó para 135 AGEBS urbanas (área geoestadística básica, las cuales delimitan una parte o el total de una localidad en conjuntos que generalmente va de 25 a 50 blockes o manzanas). Mediante una mesa de expertos en el tema se discutió y evaluó la clasificación de las inundaciones a través de un colorograma. Se establecieron cuatro categorías: leve, moderada, fuerte y muy fuerte. Los criterios de clasificación están descritos en la tabla 1.

Muy fuerte	Decesos, personas desaparecidas, daños a edificios públicos e históricos.
Fuerte	Desbordamiento de río, daños visibles a casa habitación, damnificados mayores a 21 personas y deslaves de cerros, casas o edificio, afectación a la circulación vial por un tiempo de una a dos horas.
Moderada	Daños a casa habitación, deslaves y damnificados entre 4-20 personas, afectación a la circulación vial por un tiempo de 30 minutos a 1 hora.
Leve	Daños a casa habitación con un número menor a 3 damnificados, tiempo de afectación a la circulación vial menor a 30 minutos.

TABLA 1: *Criterios de clasificación de los casos de inundaciones.*

**3.2. Evaluación por colonia**

La ecuación 1 fue modificada y se utilizó la media geométrica para poder acotar el valor del riesgo dentro de los valores numéricos que tiene el peligro, la vulnerabilidad y el valor (de 0 a 1). Cada elemento de la ecuación fue evaluado individualmente.

$$\text{Riesgo} = \sqrt[3]{(\text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{valor})} \quad \text{Ec. 2}$$

La utilización de la media geométrica en la Ec. 2 en vez del simple producto, obedece a que los valores asignados tanto al peligro, como a la vulnerabilidad y al valor fueron de 0 a 1, de modo que su producto eventualmente quedaba dos o tres órdenes de magnitud por debajo de cada uno en lo individual; en cambio la media geométrica mantiene dicho orden.

El peligro está representado por el periodo de retorno y la orografía.

$$\text{Peligro} = (\text{Periodo de retorno} + \text{Orografía})/2 \quad \text{Ec. 3}$$

Para el periodo de retorno (Tr) se contabilizó el número de casos de inundaciones por AGEBS (n en la Ec. 4), y el el total de años estudiados (m = 25 años en la Ec. 4). Al obtener el periodo de retorno, para cada AGEBS, éste se dividió en cuatro categorías (Tabla 2).

$$\text{Tr} = m/(n+1) \quad \text{Ec. 4}$$

Nivel de peligro por colonia	Tiempo de retorno	Nivel de peligro	
Muy alto	< 0,47	Muy alto	1,0
Alto	0,48 a 0,73	Alto	0,51-0,75
Medio	0,74 a 2	Medio	0,26- 0,5
Baja	>2,1	Bajo	0,25

TABLA 2: *Clasificación del nivel de peligro por colonia mediante el tiempo de retorno.*

La orografía se clasificó en cuatro categorías, partiendo de los criterios de Heras (1976) que toman en cuenta el rango de la pendiente y tipo de terreno que hay en la colonia (Tabla 3).

Nipo de terreno	Pendiente del terreno (%)	Nivel de peligro	
Llano	0-5	Muy alto	1,0
Accidentado	5-15	Alto	0,75
Escarpado	15-50	Medio	0,5
Muy escarpado	>50	Bajo	0,25

TABLA 3: Clasificación del nivel de peligro a través del tipo de orografía (Heras, 1976 modificada).

La evaluación de la vulnerabilidad implica el análisis de los diversos factores socioeconómicos que determinan el grado de condiciones desfavorables de la población, mientras mayor sea el grado menor es la capacidad de respuesta ante los efectos producidos por un peligro natural.

La vulnerabilidad fue evaluada de manera indirecta a través del cálculo de la fracción de cinco variables: viviendas con piso de tierra, viviendas que no disponen de: agua entubada, drenaje, energía eléctrica y excusado o sanitario. Los datos de las cinco variables fueron obtenidos del Censo de Población y Vivienda 2010, el cual tiene la información desagregadas a nivel de AGEBS (Ec. 5). En la Tabla 4 se presentan el nivel de vulnerabilidad.

$$V = (f(\text{pisos de tierra}) + f(\text{sin agua entubada}) + f(\text{sin drenaje}) + f(\text{sin energía eléctrica}) + f(\text{sin sanitario})) / 5 \quad \text{Ec. 5}$$

Nivel de vulnerabilidad	
Muy alto	1.0
Alto	0.51-0.75
Medio	0.26- 0.5
Bajo	0.25

TABLA 4: Clasificación del nivel de vulnerabilidad.

El riesgo económico se definió como la pérdida o daño de zonas comerciales, industriales y bienes inmuebles categorizados según su valor monetario. Se asignó un estimador del “valor económico” de cada zona. Este elemento de la Ec. 6 fue evaluado con el uso de suelo y tipo de vivienda.

$$= (\text{uso de suelo} + \text{tipo de vivienda}) / 2 \quad \text{Ec. 6}$$

Para evaluar el uso de suelo y tipo de vivienda se utilizó una media ponderada, a partir de los distintos usos de suelo (Taller de Arquitectura y Urbanismo, 2003): habitacional, industrial y comercial. Dado que se evalúa el valor comercial de la zona el valor más alto será para las zonas industriales y comerciales.

$$\text{Uso de suelo} = \frac{\text{habitacional (0.5)} + \text{comercial (0.75)} + \text{industrial (1)}}{0.5 + 0.75 + 1} \quad \text{Ec. 7}$$

En el apartado de tipo de vivienda se utilizaron cinco categorías con su respectivo valor. A la vivienda residencial se le dio el mayor valor dado que se evalúa el valor económico de la vivienda solamente.

$$\text{Valor de la vivienda} = \frac{\text{precaria (0.2)} + \text{popular (0.4)} + \text{interés social (0.6)} + \text{media (0.8)} + \text{residencial (1)}}{0.2 + 0.4 + 0.6 + 0.8 + 1} \quad \text{Ec.8}$$

En el riesgo social se utilizó la densidad de vivienda, dado que es un indicativo de cuánta gente habita y por lo tanto de cuántas personas pueden llegar a ser afectadas por un evento de inundación. La densidad de vivienda fue obtenida a través de la observación y localización de las colonias en el mapa de densidad de vivienda del Taller de Arquitectura y Urbanismo (2003). Se consideraron cinco clasificaciones (Tabla 5), al igual que en la evaluación del uso de suelo y tipo de vivienda se utilizó la media ponderada.

$$\text{Densidad de vivienda} = \frac{\text{baja (0.2)} + \text{medio baja (0.4)} + \text{media (0.6)} + \text{alta (0.8)} + \text{muy alta (1)}}{0.2 + 0.4 + 0.6 + 0.8 + 1} \quad \text{Ec.8}$$

Nivel de riesgo	
Muy alto	1.0
Alto	0.51-0.75
Medio	0.26- 0.5
Bajo	0.25

TABLA 5: *Clasificación del nivel de riesgo social y económico.*

#### 4. RESULTADOS

Para el periodo de estudio se contabilizaron 160 casos de inundaciones: 40 de intensidad leve, 65 de intensidad moderada, 48 de intensidad fuerte y 7 de intensidad muy fuerte.

En la primera parte de la evaluación se encontró que un 4,5% del total de AGEBS presentaban un valor muy alto de peligro, esto debido a que tanto en el periodo de retorno como en la orografía se obtuvo el mayor nivel. En el nivel alto se encontró un 29,5%, se observó que la orografía fue mayor que el periodo de retorno, la primera oscilaba entre los valores de 0,75 y 1. En el nivel medio se localizó el 65%. Mientras que para el nivel bajo se encontró menos del 1%.

En lo que respecta a la vulnerabilidad las 135 AGEBS presentaron un valor bajo ya que en la mayoría de las viviendas contaban con los servicios y un material del suelo distinto al evaluado.

Para el uso de suelo se encontró un valor bajo para 133 AGEBS, debido a que la mayor parte es de uso habitacional la cual está mayormente compuesta por viviendas de tipo popular y media. Solo tres AGEBS presentaron un valor medio.

En la densidad de vivienda el 98% de las AGEBS se localizan en un nivel de valor bajo, debido a que están compuestas por densidades de vivienda que van de bajas a media alta.

Al evaluar el riesgo social y económico se encontró un nivel de riesgo bajo, aun cuando en el apartado de peligro en un 34% del área de estudio se presentaron niveles altos, la vulnerabilidad y el valor, en cerca del 98% fue de nivel bajo, por lo que el valor del riesgo tiende a disminuir.

#### 5. COMENTARIOS FINALES

Esta comunicación propone una metodología sencilla para evaluar el riesgo y los tres elementos que le dan origen: peligro, vulnerabilidad y valor). Para el peligro se tomó en cuenta la probabilidad de ocurrencia de la inundación, en la vulnerabilidad el nivel de desarrollo en la zona y en el valor el

costo económico y/o social de las inundaciones. El método propuesto puede ser aplicado a otros centros urbanos. Ayuda a sistematizar los inventarios de las inundaciones ocurridas durante un cierto periodo y dimensiona el nivel de peligro para cada zona.

Para México, al evaluar el riesgo a nivel de AGEBS se tiene un área muy bien delimitada geoes-tadísticamente, actualizando los datos conforme elaboren los censos de población y vivienda, para una posible actualización de las evaluaciones de los riesgos.

Si bien cada año se inundan distintas zonas de la ciudad de Xalapa, no presenta en ambos riesgos —el social y el económico— un valor por arriba del nivel alto (0,50 a 0,75). La mayoría de las colonias susceptibles de inundación presentan una densidad poblacional media a baja, y consecuentemente el valor del riesgo social es medio. Algo similar ocurre con el riesgo económico, pues el mayor uso de suelo es habitacional y poco industrial y comercial.

## REFERENCIAS

- Comisión Nacional del Agua. 1994. Cartografía de la cuenca del río Actopan. Unidad de Hidrometeorología. Diario AZ. Consulta de ediciones diarias entre el 1 de enero del 2000 y el 31 de diciembre del 2009. Disponible en: <http://www.diarioaz.com.mx/> [consultado del 30 de septiembre al 1 de diciembre del 2011].
- Diario de Xalapa. Consulta de ediciones diarias entre el 1 de enero del 1985 y el 31 de diciembre del 2009. Disponible en: <http://www.oem.com.mx/diariodexalapa/> [consultado del 15 al 30 de septiembre del 2011].
- Diario La Jornada-Veracruz. Consulta de ediciones diarias entre el 1 de enero del 2000 y el 31 de diciembre del 2009. Disponible en: <http://www.jornadaveracruz.com.mx/> [consultado del 15 al 30 de septiembre del 2011].
- Ebert, A., N. Kerle y A. Stein. 2009. Urban social vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics derived from air-and spaceborne imagery and GIS data. *Natural Hazards*, vol. 48, pág. 275-294.
- Garnica, R. e I. Alcatraz (2004) “Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz”. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM*. Núm. 55, pág. 23-45.
- Heras, R. 1976. Métodos prácticos para el estudio de aguas superficiales y subterráneas. Secretaría General Técnica. Ministerio de Obras Públicas, Madrid España. Vol. 85.
- INEGI (2011) Principales resultados por AGEB y manzana urbana. Censo de población y vivienda 2010. Disponible en: [http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta\\_resultados/ageb\\_urb2010.aspx?c=28111&s=est](http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/ageb_urb2010.aspx?c=28111&s=est) [Consultado el 25 de noviembre del 2011].
- Juárez, M., L. Iñiguez y M. Sánchez (2006) “Niveles de riesgo social frente a desastres naturales en la Riviera Mexicana”. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM*. Núm. 61, pág. 75-88.
- Maskrey, A. (1993) *Los desastres no son naturales*. La red-ITDG, Tercer mundo editores. 137 pp. Disponible en línea.
- <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf> [Accesado el día 15 de enero del 2012]
- Moguel-Flores, A.G., A. Tejada-Martínez y V.H. García-Pacheco (2012). Propuesta para la evaluación de riesgos por inundaciones: el caso de Xalapa, Veracruz, en *Las inundaciones de 2010 en Veracruz: la biósfera, escenarios y herramientas*. Biblioteca del Especialista (Universidad Veracruzana, México), 223 p.: 154-179.
- Pereyra, D., J. A. A. Pérez, M. A. Natividad y L. Gómez. 2000. Influencia de La Niña y El Niño sobre la canícula de la región Xalapa, Veracruz, México. *Universidad y Ciencia*, 16 (32), pág. 71-79.
- Taller de Arquitectura y Urbanismo. 2003. Actualización del programa de ordenamiento urbano de la zona conurbada Xalapa-Banderilla-Emiliano Zapata-Tlanelhuayocan, Ver. Disponible en CD. (Consultado el 20 de noviembre del 2011).
- Tejada, A., T. Aguas y E. Viveros. 1995. Riesgos por factores climáticos en centros urbanos. Revista *La ciencia y el hombre*, Universidad Veracruzana (México), No. 21: 209-224.

- Torres, F., D. Rodríguez, F. Ibarra, A. Carrillo y J. Delgadillo. 1993. *Desastres naturales/ Aspectos sociales para su prevención y tratamiento en México*. UNAM, México. 200 p.
- UNDRO (1979) Natural Disasters and Vulnerability Analysis. Report of Experts Group Meeting, Geneva. United Nations Disaster Relief Organization.
- UNESCO 1972. Report of consultative meeting of experts on the statistical study of natural hazards and their consequences. Document SC/WS/500. 11pp.