

# VULNERABILIDAD BIOFÍSICA Y RIESGO ANTE INUNDACIONES EN LA SUBCUENCA RIO ATOYAC-OAXACA DE JUÁREZ

*Andrea Cecilia Salas Flores<sup>1</sup>*

*Marta Magdalena Chávez Cortés<sup>2</sup>*

*Binnqüist Cervantes Gilberto Sven<sup>3</sup>*

Ante los impactos negativos que las inundaciones han significado para la subcuenca del Río Atoyac-Oaxaca de Juárez, es importante identificar qué zonas son vulnerables ante inundaciones, qué factores naturales se asocian con este fenómeno y qué áreas se encuentran en mayor riesgo. Estos son los objetivos de este trabajo. Para lograrlo, se siguió el enfoque geográfico de riesgo apoyado en el análisis espacial asistido por tecnología SIG. Con el fin de evaluar la vulnerabilidad biofísica, se construyó un índice (IVBF) utilizando el método multicriterio AHP. Los resultados indican que las áreas más vulnerables son el centro y los Valles de Tlacolula, Etna y Zaachila, explicado por los factores intrínsecos al territorio: su fisiografía, cercanía a cuerpos de agua, coberturas del suelo, tipos de suelo y geología. Asimismo las zonas en mayor riesgo se localizan en la zona conurbada de Oaxaca de Juárez, las cuales equivalente al 40% de la superficie total de la subcuenca. Dentro de esta región, los municipios de carácter urbano que son prioritarios de atender para evitar una condición de desastre son: San Jacinto Amilpas, Santa Lucía del Camino y Santa Cruz Xoxocotlán. En el contexto rural, la atención prioritaria deberá enfocarse en los municipios de Santa Cruz Papalutla, San Raymundo Jalpan y San Pedro Apóstol. Este trabajo abona al interés continuo del desarrollo métrico de la vulnerabilidad, el cual puede extenderse a otras dimensiones y a la evaluación integral del riesgo.

---

<sup>1</sup> Biól. Andrea Cecilia Salas Flores. Laboratorio de Planeación Ambiental. Depto. El Hombre y su Ambiente, UAM-Xochimilco, [andreacecilia02@hotmail.com](mailto:andreacecilia02@hotmail.com)

<sup>2</sup> Dr. Laboratorio de Planeación Ambiental. Depto. El Hombre y su Ambiente, UAM-Xochimilco, [ccmm1320@correo.xoc.uam.mx](mailto:ccmm1320@correo.xoc.uam.mx)

<sup>3</sup> M. en SIG. Laboratorio de Planeación Ambiental. Depto. El Hombre y su Ambiente, UAM-Xochimilco, [gsven1@gmail.com](mailto:gsven1@gmail.com)

**Palabras clave:** Vulnerabilidad, riesgo, AHP

## **INTRODUCCIÓN**

La ubicación geográfica de Oaxaca y sus condiciones climáticas la hacen propensa a la trayectoria y embate de huracanes. Asimismo, cuenta con ríos caudalosos y de respuesta rápida que aumentan su susceptibilidad a sufrir inundaciones, principalmente en la zona del Istmo de Tehuantepec, Costa y Valles Centrales – donde se ubica la subcuenca Rio Atoyac-Oaxaca de Juárez (CIEDD, 2010). Aunado a esto, la subcuenca ha sufrido diferentes transformaciones en sus componentes estructurales a lo largo del tiempo, creando condiciones favorables para las inundaciones. Por lo tanto, esta subcuenca se presenta como un territorio donde es pertinente y necesario evaluar la vulnerabilidad biofísica ante inundaciones, y el riesgo que esto implica, con el fin de prevenir impactos negativos sobre la población y su entorno. Este es el objetivo de este trabajo.

Se entenderá como vulnerabilidad biofísica, aquella que se refiere a la fragilidad de un socioecosistema ante un fenómeno, explicada por las propiedades bióticas y abióticas, y por la situación y condición en que se encuentra el sistema en un momento dado, producto de su desarrollo natural o bien, causado por la presión antrópica (Cardona, 2001). Por su parte, el riesgo se valoró en función de la posible pérdida de vidas humanas a nivel municipal.

## **Metodología**

Como lo muestra la figura del apartado metodológico, este trabajo estuvo basado en un enfoque multicriterios y el empleo de tecnología SIG. El procedimiento metodológico comprendió cuatro etapas. La primera consistió en una investigación documental sobre las características biofísicas, con lo cual se diseñó y construyó la geobase de datos de la subcuenca. Se emplearon los mapas digitales que elabora el Instituto Nacional de Estadística

Geografía e Informática (INEGI) y del Simulador de Flujo de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL, ver 2.2). La segunda etapa se completó mediante un análisis con algebra de mapas, con base en la selección y combinación ponderada de cinco criterios (vía el empleo del AHP), considerados como los factores condicionantes de la vulnerabilidad biofísica: el grado de inclinación de las pendientes, la cobertura y uso de suelo, la distancia a los ríos y cuerpos de agua, los tipos de suelo, y los sustratos geológicos (Dewan, 2013; Balica *et al.*, 2012; López y Sánchez, 2011; Palacio *et al.*, 2005). La tercera se concentró en una comparación del registro histórico de las inundaciones en la subcuenca en cada municipio, con los municipios que calificaron en la categoría de alta vulnerabilidad ante el fenómeno estudiado, con el objetivo de validar la zonificación elaborada. La cuarta etapa se orientó a la zonificación y estimación del riesgo a la población a nivel municipal, la cual se definió a partir del cruce del mapa de vulnerabilidad con un mapa de peligro por inundaciones construido a partir de la jerarquización espacial de los registros históricos de la precipitación; especialmente los territorios con mayor concentración por lluvias torrenciales. También se analizó la distribución y el tamaño de la población dentro de la subcuenca para detectar que municipios con alto riesgo potencial por inundaciones podrían considerarse como estratégicos por los posibles desastres que podrían enfrentar los asentamientos humanos rurales y urbanos.

## **Resultados**

El primer recuadro de los resultados muestra la expresión matemática del índice de vulnerabilidad biofísica (IVBF) obtenido. Con respecto a este modelo y como se puede observar en la tabla 1, se deriva de la opinión experta que la pendiente del terreno, la distancia a ríos y cuerpos de agua, así como la cobertura y el tipo de suelo son los factores que tienen más relevancia para dar lugar a inundaciones ante un peligro hidrometeorológico en la subcuenca. Asimismo, los pesos de los subcriterios indican que son más relevantes para la vulnerabilidad biofísica ante inundaciones las pendientes entre 0 y 6°, los suelos cubiertos por

uso urbano, los primeros 400 m de distancia a los ríos, los tipos de suelo vertisol/phaeozem así como el grupo geológico compuesto por los gneis y granitos.

En este estudio, la evidencia empírica correspondiente al registro histórico de las inundaciones en Oaxaca soporta los resultados obtenidos en el mapa del IVBF. En términos de cifras, las zonas de alta vulnerabilidad dan cuenta del 38.39 % de la superficie de la subcuenca (225 664 ha), mientras que las de mediana vulnerabilidad contabilizan el 35.28 % (207 408 ha) y las de baja representan el 26.32 % (154 736 ha). Las características biofísicas que subyacen a dichas categorías se observan en las tablas que acompañan al mapa.

Es importante hacer notar que los valores de los atributos que conforman cada criterio, se distribuyen espacialmente de manera heterogénea, por lo que, al momento de sobreponerse, generan gradientes de condiciones que favorecen en distinta medida las inundaciones. Es por ello que, esta influencia relativa, se puede observar en los patrones espaciales de la vulnerabilidad biofísica, pero también en la cantidad de área sobre la que influyen, dentro de dicho gradiente. Es así que, por ejemplo, al analizar cuantitativamente la distribución espacial de las coberturas y usos de suelo con respecto a la categoría de alta vulnerabilidad, se aprecia que la mayoría de la superficie altamente proclive a las inundaciones está cubierta por uso de suelo agrícola (22.93 %) y, en segundo lugar, por uso de suelo urbano (7.52 %). En contraste, si se compara con la categoría de baja vulnerabilidad, salta a la vista que las zonas menos proclives a inundarse están cubiertas principalmente por bosques (30.67 %) y luego por pastizal (8.06 %).

Haciendo el análisis con las características edafológicas de la subcuenca, los resultados indican que es sobre los tipos de suelo vertisol/phaeozem que se da la mayor superficie de alta susceptibilidad a las inundaciones en la subcuenca (16.24 %), seguido por los tipos de suelo

leptosol/regosol que subyacen al 14.69 % de esta superficie. En contraste, son los leptosoles y regosoles los tipos de suelo que más área de baja vulnerabilidad abarcan en la subcuenca (34.09 %) y, en segundo lugar, los leptosoles/regosoles con un 8.79 % de la superficie cubierta. Para el caso de la geología, cabe hacer notar que la unidad B (aluvial, residual y lacustre) y la unidad A (gneis-granito), son las rocas que subyacen, respectivamente, en el 15.81 % y en el 8.51 % de la superficie que ocupa la categoría de alta vulnerabilidad en la subcuenca. Por su parte, la superficie de menor vulnerabilidad se ve influida principalmente por la unidad C (Lutita, andesita, basalto, lutita-arenisca, calizas y caliza-lutita) y, en segundo lugar, por la unidad A (gneis, granito) sumando un 33.78 % de la superficie de la subcuenca.

En conjunto, las áreas de mayor vulnerabilidad agrupan un total de 58 municipios, destacando entre ellos los siguientes: Asunción Ocotlán, Ciénega de Zimatlán, Guadalupe Etla, Santa Cruz Papalutla, San Antonino Castillo Velasco, San Jacinto Amilpas, San Pedro Apóstol, Santiago Apóstol, Santiago Matatlán, San Raymundo Jalpan, Santa Inés Yatzeche y Santa Lucía Ocotlán, ya que tienen el total de su territorio inmerso en esta categoría.

La mayor concentración de población de la subcuenca, dentro de las áreas clasificadas como de alto riesgo, se localiza en aquellos municipios que pertenecen a la conurbación de la Ciudad de Oaxaca como son: Oaxaca de Juárez, Santa Cruz Xoxocotlán, Santa Lucía del Camino, Villa de Zaachila, Santa María Atzompa, San Antonio de la Cal y Tlacolula de Matamoros, con excepción de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Ocotlán de Morelos y Heroica Ciudad de Ejutla de Crespo.

## **Conclusiones**

La zonificación de la vulnerabilidad desarrollada en este trabajo, a través de la aplicación del IVBF, es congruente con la realidad. Bajo este contexto, los criterios utilizados y sus ponderaciones resultaron adecuados para evaluar la vulnerabilidad biofísica.

Si bien los espacios donde predominan los bosques y selvas se mostraron poco vulnerables en el análisis de resultados, el mantenimiento de su estructura, función y preservación juega un papel primordial como mecanismo regulador ante inundaciones.

Los mapas de vulnerabilidad y riesgo constituyen herramientas de prevención que pueden ayudar a la población y el gobierno en la construcción de una cultura de protección civil y prevención de desastres.

La cultura de protección civil debe fomentarse tanto en territorios rurales como urbanos, con el fin de facilitar las etapas de recuperación y reconstrucción, ya que una condición de desastre provocada por lluvias torrenciales e inundaciones, afectaría no sólo a la población humana; implica también la posible pérdida de importantes áreas productivas para el aprovisionamiento de alimentos, que son parte de los soportes de vida de la subcuenca.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**Balica, S.F., Wright, N.G., Meulen, F.V.** (2012). A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*. 52: 1-35.

**Cardona, O. D.**, 2001. Estimación Holística del Riesgo Sísmico utilizando Sistemas dinámicos complejos. Tesis Doctoral, Universidad Técnica de Cataluña, Barcelona, España. Consultada el 10 de enero de 2015 de <http://www.desenredando.org/public/varios/2001/ehrisusd/>

**CIEDD** (Centro de información estadística y documental para el desarrollo) (2010). *Carpeta regional de Valles Centrales: Información estadística y geográfica básica*. Oaxaca:CIEDD

**Dewan, A. M.** (2013). Floods in a Megacity: Geospatial Techniques in Assessing Hazards, Risk and Vulnerability. The Netherlands: Springer

**López, M.A., Sánchez, L.** (2011). Vulnerabilidad ante inundaciones en un sector de la Ciudad de Coro sobre Sistemas de Información Geográfica. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 32 (2): 69-74.

**Palacio, A.A., Alfonso de Almeida, P.S., Casarín, R.S., Godínez, E.G.B., Vanegas, G.P., Val, S.R.** (2005). *Diagnóstico de Riesgo por Inundación para la Ciudad de Campeche*. Campeche:Universidad Autónoma de Campeche-H. Ayuntamiento del Municipio de Campeche