



## Ciencia Nicolaita 86

ISSN: 2007-7068



Universidad  
Michoacana  
de San Nicolás  
de Hidalgo

# Análisis espacial del riesgo de inundación a través de Sistemas de Información Geográfica: Caso sector Hacienda-Margarita, Puebla

## Spatial analysis of flood risk through Geographic Information Systems: Case of the Hacienda-Margarita sector, Puebla

Eduardo Jerjes Molina-Blancas, Stephanie Scherezada Salgado-Montes\*,  
María Lourdes Guevara-Romero

**Para citar este artículo:** Eduardo Jerjes Molina-Blancas, Stephanie Scherezada Salgado-Montes\*, María Lourdes Guevara-Romero, 2022. Análisis espacial del riesgo de inundación a través de Sistemas de Información Geográfica: Caso sector Hacienda-Margarita, Puebla. Ciencia Nicolaita no. 86, 97-110. DOI: <https://doi.org/10.35830/cn.vi86.629>



### Historial del artículo:

Recibido: 21 de abril de 2022

Aceptado: 30 de septiembre de 2022

Publicado en línea: diciembre de 2022



**Ver material suplementario**



**Correspondencia de autor:** [stephanie.salgado@correo.buap.mx](mailto:stephanie.salgado@correo.buap.mx)



**Términos y condiciones de uso:** <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/privacy>



**Envíe su manuscrito a esta revista:** <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/submissions>

# Análisis espacial del riesgo de inundación a través de Sistemas de Información Geográfica: Caso sector Hacienda-Margarita, Puebla

## Spatial analysis of flood risk through Geographic Information Systems: Case of the Hacienda-Margarita sector, Puebla

Eduardo Jerjes Molina-Blancas<sup>1</sup>, Stephanie Scherezada Salgado-Montes<sup>2\*</sup>, María Lourdes Guevara-Romero<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Arquitectura, Maestría en Ordenamiento Territorial.

<sup>2</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Arquitectura.

### Resumen

La investigación presenta el análisis espacial, a través del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), de las condiciones naturales y urbanas que generan el riesgo de inundación que afecta el sector Hacienda-Margarita en la ciudad de Puebla. El objetivo es explicar las condiciones de riesgo de inundación mediante el análisis comparativo, el modelado del territorio y la simulación hidrológica, bajo el sustento de la construcción social del riesgo. El análisis demuestra las diferencias del impacto de las inundaciones en cada uno de estos asentamientos urbanos con base en la estructura urbana, la topografía y la dinámica hídrica. Las conclusiones plantean la potencialidad de los SIG para determinar niveles de riesgo y vulnerabilidad precisos que sirvan para la prevención y la mitigación del riesgo.

**Palabras clave:** Sistemas de Información Geográfica (SIG), análisis espacial, simulación hidrológica, riesgo de inundación, asentamientos urbanos

### Abstract

This research exposes the spatial analysis carry out by Geographic Information Systems (GIS) of natural and urban conditions of the flood risk in the Hacienda-Margarita sector in Puebla city. It aims to explain the flood risk through the comparative analysis, modeling of the territory and hydrological simulation, supporting by the social construction of risk theory. The analysis show that urban structure, topography, and hydrological dynamic set the differences of the negative impacts of urban flooding in each of these urban settlements. The conclusions raise the potential of GIS for detailed analysis to set the levels of risk and vulnerability to prevent and mitigate the flood risk in urban settlements.

**Keywords:** Geographic Information Systems (GIS), spatial analysis, hydrological simulation, flood risk, urban settlements

## Introducción

En el estudio de riesgos de desastre se considera que los procesos de urbanización y la transformación de los bienes y fenómenos naturales, generan condiciones de vulnerabilidad física y social (Beck, 1998; O'Keefee *et al.*, 1976). Se ha estimado el aumento de los desastres a nivel mundial desde la década de los 40, así como la diferencia de los impactos en pérdidas de vida, de bienes y económicas (Marskey, 2011; O'Keefee *et al.*, 1976). El riesgo de desastre es consecuencia de la urbanización difusa y de la degradación ambiental (Narvaéz *et al.*, 2020), de la inadecuada utilización y modificación del territorio (Lungo, 2001), y de la segregación socioespacial e injusticia en la distribución de los recursos (Ríos, 2020). La modalidad de la urbanización, cualquiera que sea, implica una relación entre la sociedad y el territorio que genera riesgos de distinta índole y grado; no obstante, hay modos y umbrales de urbanización que provocan más riesgos y de diferente carácter que otros (Lungo, 2001).

Las investigaciones en materia de riesgos de desastre promueven métodos de análisis y una revisión crítica de los procesos de urbanización (Gellert-de-Pinto, 2012), de planeación urbana y gestión de riesgos (Ríos, 2020), de participación social y con enfoque local (Marskey, 2011; Mojtahedi y Oo, 2016). Se resalta la atención al riesgo de desastres como prioritaria, impulsada en la agenda internacional a través de organizaciones como la Oficina de las Naciones Unidas para Reducción de Riesgo de Desastres con enfoque en la prevención, mitigación, resiliencia ante el riesgo y la adaptación de asentamientos humanos. El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastre (UNDRR, 2015), plantea la necesidad de mejorar el entendimiento de los riesgos de desastre en todas sus dimensiones de exposición, vulnerabilidad y peligro; fortalecer las instituciones, la cooperación global de los actores involucrados, la capacidad para la gestión de riesgos de desastre, la movilización de inversiones para infraestructura resiliente y evitar la generación de nuevos riesgos; y contar con políticas, programas y financiamiento para atender el riesgo de desastre.

En el caso de México, la política de la Gestión Integral del Riesgo plantea acciones encaminadas a la identificación, análisis, evaluación, control y reducción de los riesgos, desde un enfoque multifactorial y como un proceso en permanente construcción que

debe atenderse mediante políticas públicas, estrategias y procedimientos integrados desde el nivel federal hasta el municipal (Gobierno federal, 2021). Sin embargo, desde la década de los 80 se han presentado 64 desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos que han ocasionado la muerte de 2 015 personas y han afectado a otras 4 438 268 (Salgado-Montes, 2020), esto como resultado de las debilidades institucionales que incentivan la construcción de asentamientos humanos en cuencas lacustres o zonas potencialmente inundables, lo mismo que la urbanización y el constreñimiento de las riberas, los taludes y las barrancas de los cauces de los ríos (Flores-Lucero *et al.*, 2016). En el caso del municipio de Puebla, 460 (50 %) de los asentamientos urbanos presentan riesgo de inundación; se identifican periodos de retorno de 3.6 años (Ramírez, 2017). Es importante mencionar que en el Atlas de Riesgos Naturales no se aborda el análisis de riesgo desde un enfoque sistémico, ni multifactorial, a la vez que no cuenta con una actualización desde hace diez años, por lo que es necesario generar información precisa y actualizada del riesgo.

## Los SIG para el análisis de riesgos de desastre

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son tecnologías que incluyen conocimientos científicos de la geografía. Además de la ciencia aplicada, también emplean la experiencia y la idoneidad adquiridas para la resolución de problemas en materia de planeación urbana y de ordenamiento territorial (Principi y Buzai, 2021; Baxendale, 2015). El enfoque sistémico y multidisciplinario (García, 2006) de los SIG para el análisis espacial mediante el tratamiento y estudio descriptivo y exploratorio de datos geoespaciales, así como la aplicación de estadística y el modelado espacial, permiten plantear diferentes escenarios útiles para la toma de decisiones (Buzai *et al.*, 2015). En el caso del análisis de riesgos de inundación, se identifican los factores que inducen y generan el riesgo con base en las condiciones urbanas y las corrientes de agua, información que se procesa a través de capas temáticas en formatos geoespaciales (Chen, 2022). Por otra parte, las simulaciones hidrológicas y modelos digitales de elevación, permiten optimizar el cálculo de escenarios y la comparación de resultados más precisos para representar flujos y acumulación de agua (Jafarzadegan

y Merwade, 2017). En este sentido, los programas informáticos como HEC-RAS 5 de simulación hidrológica de corrientes (Moya-Quiroga *et al.*, 2016), QGIS o ArcGIS, posibilitan el análisis de la extensión de las inundaciones, los flujos de agua y la formación de socavones mediante la superposición de capas de inundación calculadas a partir de modelos matemáticos (Schubert y Sanders, 2012). Además, para el análisis se aplican las condiciones de vulnerabilidad mediante la relación de las variables físicas y sociales en asentamientos urbanos (Dou *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2017).

En este contexto, el propósito del presente estudio es explicar las condiciones de riesgo de inundación del sector conformado por los asentamientos urbanos La Hacienda y La Margarita en el municipio de Puebla, mediante el análisis comparativo, el modelado del territorio y la simulación hidrológica, bajo el sustento de la construcción social del riesgo a través de los SIG.

## Materiales y métodos

La teoría de la construcción social del riesgo (Beck, 1998) permitió considerar la dinámica del sistema hidrológico y los procesos de urbanización que inciden en la generación del riesgo de inundación, así como la vulnerabilidad física y social en asentamientos urbanos (Lungu, 2001). Para llevar a cabo este estudio, se realizaron tres recorridos de campo en las vialidades paralelas al río Alseseca en la zona de riesgo de inundación para georreferenciar datos y realizar levantamientos fotográficos de la ribera y del cauce del río, así como de las construcciones e infraestructura de los asentamientos urbanos La Hacienda y La Margarita; asimismo, se procesaron datos estadísticos y geoespaciales mediante el análisis espacial con SIG.

En el programa QGIS 3.14,<sup>1</sup> se procesó el Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución LiDAR (MDE) con una resolución espacial de 1.5 m para calcular las curvas de nivel a 1 m de altitud y las pendientes del terreno (INEGI, 2012). Por otra parte, en el programa HEC-RAS 5.0.3,<sup>2</sup> se realizó la simulación hidrológica (generación informática del comportamiento del agua

en un cauce) con base en el MDE, mientras que la rugosidad del terreno se llevó a cabo con referencia en el coeficiente de Manning, considerando variables de distintos gastos<sup>3</sup> de agua. Los resultados muestran el comportamiento de los flujos en el cauce con base en períodos de retorno de hasta 100 años (SEDESOL, 2012) para sustentar los diferentes escenarios de inundación. Asimismo, se aplicó la superposición e intersección de capas vectoriales con imágenes satelitales con resolución espacial de 10 cm, obtenidas del programa Universal Maps Downloader para calcular cortes transversales y puntos de conflicto. También se procesaron las corrientes de agua en formato vectorial con escala 1: 50 000 (INEGI, 2010) y las manzanas con escala 1: 20 000 (INEGI, 2010) para definir las zonas de riesgo de inundación. Posteriormente, se asociaron los datos estadísticos del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI, 2020) a las manzanas y se georreferenciaron equipamientos mediante la técnica de fotointerpretación para identificar a la población, las viviendas, las vialidades y los equipamientos vulnerables. Finalmente, se elaboraron mapas de riesgo en escala 1:12,000 para mostrar los resultados del análisis.

## Riesgo de inundación en el sector Hacienda-Margarita

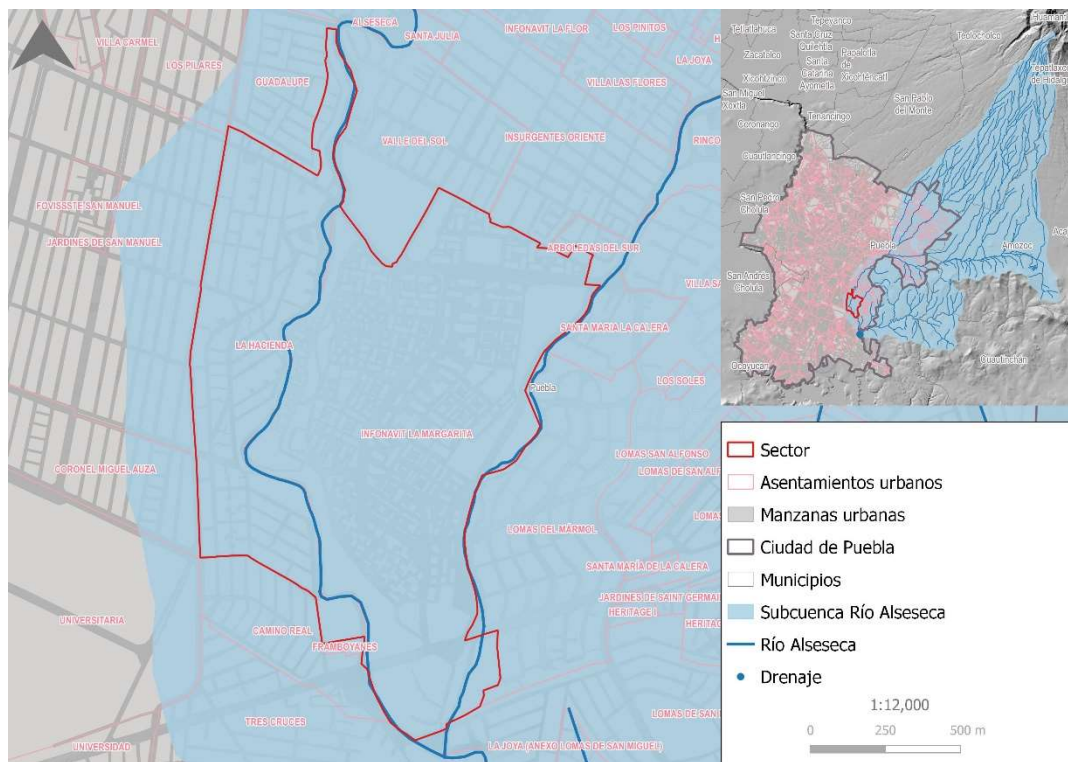
El asentamiento urbano denominado colonia La Hacienda, construido a finales de la década de los 60, colinda al este con la Unidad Habitacional La Margarita, construida en la década de los 80; ambos se ubican en el suroriente de la ciudad de Puebla, en uno de los puntos de drenaje de la subcuenca hidrológica río Alseseca. La forma y estructura urbana de los dos asentamientos, aunque independientes, responden al eje del río y a las fuertes pendientes del terreno (Figura 1). El proceso de antropización de este sector, se

<sup>1</sup> QGIS 3.14 se refiere a las iniciales de Quantum GIS, un sistema de información geográfica de licencia libre, desarrollado por Fundación OSGeo.

<sup>2</sup> HEC-RAS (acrónimo de Hydrologic Engineering Center and River Analysis System) es un sistema informático de modelación de la hidráulica de flujo de aguas en ríos naturales y

otros canales; fue desarrollado por el cuerpo de ingenieros de la Armada de los Estados Unidos de América.

<sup>3</sup> Relación entre el volumen del líquido que fluye por un conducto y el tiempo que tarda en fluir.



**Figura 1.** Localización del área de estudio. Fuente: Marco Geoestadístico, INEGI, 2019; Información vectorial de localidades ameznadas y números exteriores, INEGI, 2010; Región hidrológica 18 Río Balsas, SIATL, 2010.

caracterizó por la permisividad de las autoridades gubernamentales para la construcción de viviendas, infraestructura y equipamientos urbanos sobre el terraplén natural del río, para lo cual, fue necesario el estreñimiento y revestimiento de concreto de los taludes del cauce (Salgado-Montes, Flores-Lucero y Guevara-Romero, 2019).

El sector presenta inundaciones pluviales y fluviales desde la década de los 70, con periodos aproximados de retorno de 3.6 años (Ramírez, 2017), lo que causa situaciones de emergencia, pérdida de bienes, afectaciones a inmuebles y evacuación de la población, principalmente en la colonia La Hacienda (Salgado-Montes, Flores-Lucero y Guevara-Romero, 2019). En 2012, con la publicación del *Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Puebla* (SEDESOL, 2012), se determinó que el sector constituye una zona de riesgo de inundación. Este instrumento y la base de datos vectorial y *raster*, se encuentra en el Sistema de Información Geográfica del Atlas Nacional de Riesgos del Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED, 2021); sin embargo, presenta una metodología y datos que no explican la relación causal entre el proceso de urbanización y las modificaciones del

entorno natural que generaron el riesgo, ni las condiciones de vulnerabilidad.

En este sentido, la importancia del presente estudio consiste en la identificación de riesgo y vulnerabilidad en el sector Hacienda-Margarita en el que existen 27 641 habitantes, 13 728 viviendas, tres equipamientos educativos, un equipamiento religioso y cuatro espacios públicos que incluyen parques y jardines.

## Simulación hidrológica

El sector se ubica, como ya se mencionó, en uno de los puntos de drenaje de la subcuenca del río Alseca, por lo que recibe los flujos de las corrientes perennes e intermitentes del sistema hidrológico del volcán Malinche y de las lluvias atípicas que se presentan entre los meses de abril y julio en la ciudad de Puebla (Salgado-Montes, 2020), lo que genera gastos de hasta 458 m<sup>3</sup>/s y la acumulación de agua en algunas zonas (SEDESOL, 2012).

Aplicando la herramienta *cross section* del programa HEC-RAS 5.0.3, se calcularon 44 cortes transversales en el cauce del río con una distancia promedio de 50 m y a una menor distancia en los sitios en los que se detectaron áreas de mayor ocurrencia de





**Figura 2.** Cortes transversales modelado en el área de estudio. Fuente: Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución LiDAR, INEGI, 2012; Imagen satelital con resolución espacial de 10 cm, Universal Maps Downloader.

inundaciones (Figura 2). Por otro lado, se calcularon las curvas de nivel cada 1 m con base en el MDE con el programa QGIS 3.14 para comparar las altitudes de cada asentamiento y determinar cómo esto incide en el riesgo de inundación.

El resultado del modelado del sector fue la identificación de tres puntos conflictivos con mayor probabilidad de inundación debido a la poca diferencia de altitud entre las construcciones y el cauce, lo que provoca que el río Alseseca se desborde ante el aumento del volumen y la aceleración de los flujos de agua por

el revestimiento de concreto de los taludes y el colapso de la red de drenaje y alcantarillado. El primer punto se encuentra entre los cortes 8 y 9: en el corte 8 La Hacienda se encuentra a 2 116.5 m con una diferencia de 4.5 m respecto al cauce. En contraste, en La Margarita, las primeras construcciones se encuentran a una altitud de 2,125 m s. n. m., con una diferencia de 14 m.

Por otra parte, la técnica *overlay mapping* se aplicó para sobreponer las capas vectoriales correspondientes a las curvas de nivel a cada 1 m, el eje del río Alse-



**Figura 3.** Curvas de nivel en el corte 8 de La Hacienda. Fuente: Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución LiDAR, INEGI, 2012; Imagen satelital con resolución espacial de 10 cm, Universal Maps Downloader.



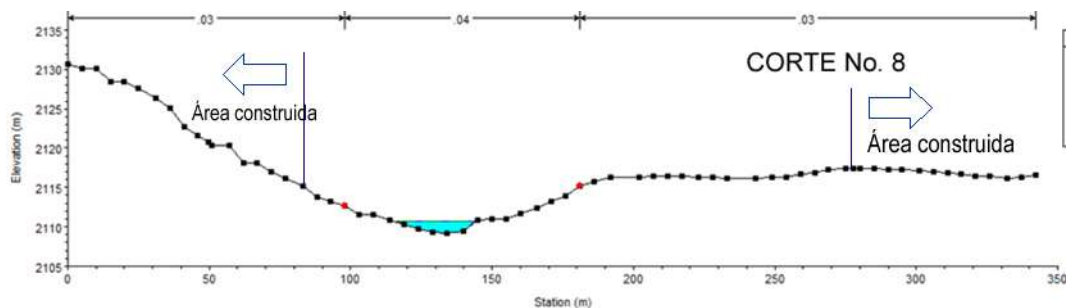


**Figura 4.** Curvas de nivel en el corte 8 de La Margarita. Fuente: Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución LiDAR, INEGI, 2012; Imagen satelital con resolución espacial de 10 cm, Universal Maps Downloader.

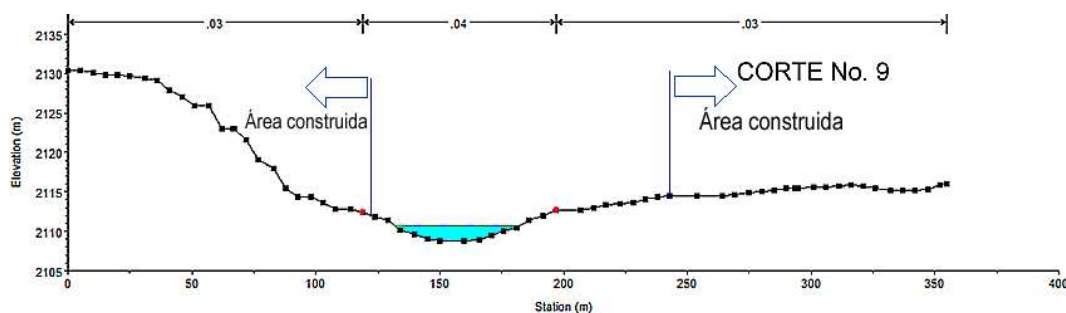
seca y los cortes transversales 8 y 9, así como una imagen satelital del terreno que permitió identificar que en el corte 8 las construcciones en La Hacienda tienen mayor probabilidad de inundación, principalmente aquellas que se encuentran en los 2 114 m, con una diferencia de 3 m y separadas por un área verde de 9 m (Figuras 3 y 4). En contraste, en La Margarita, las construcciones se encuentran a una altitud de 2 123

m con una diferencia de 12 m respecto al cauce y a una distancia de 30 m con respecto al lecho del río, separadas por un área provista de vegetación y con una pendiente escarpada en el talud (Figuras 5 y 6).

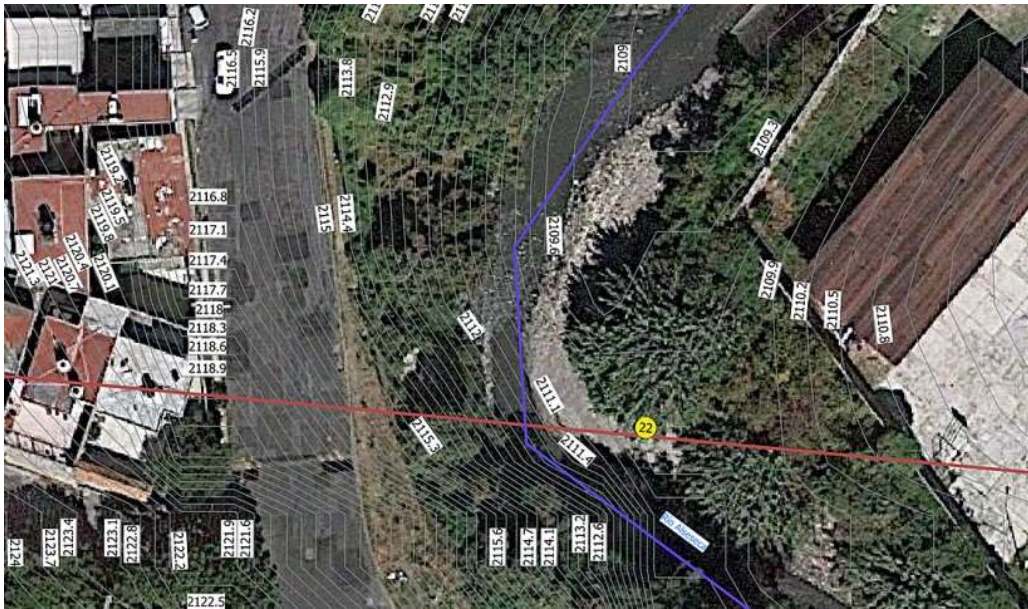
El siguiente punto conflictivo se identifica en los cortes transversales 21 y 22 en el punto final del revestimiento de concreto, donde se ubica la Escuela



**Figura 5.** Perfil del corte transversal 8. Fuente: Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución LiDAR, INEGI, 2012.



**Figura 6.** Perfil del corte transversal 9. Fuente: Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución LiDAR, INEGI, 2012.



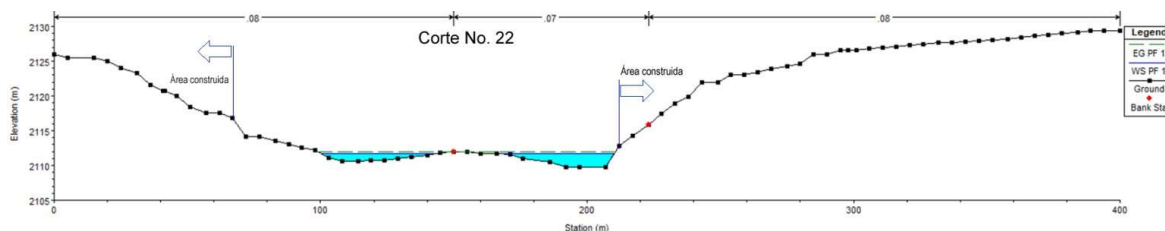
**Figura 7.** Curvas de nivel del corte transversal 22. Fuente: Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución LiDAR, INEGI, 2012; Imagen satelital con resolución espacial de 10 cm, Universal Maps Downloader.

Primaria Hacienda de Guelatao de la colonia La Hacienda y la Escuela Secundaria Técnica No. 42 de la Unidad Habitacional La Margarita, respectivamente (Figura 7). El corte transversal 22 muestra que La Hacienda se encuentra a 2 117 m, con una diferencia de 8 m de altitud sobre el lecho del río, mientras que la secundaria se encuentra a 2 110 m con un metro de diferencia respecto al lecho (Figura 8), lo que significa que es la construcción con mayor probabilidad de riesgo de inundación.

El tercer punto conflictivo se encuentra en el corte 35 en la colonia La Hacienda a 2 111 m, en el que se identificó el menor desnivel, con una diferencia de 3 m respecto a la altura promedio del flujo del río (Figura 9). Se observa que, a pesar de que existe un área de vegetación entre la vialidad y el río, la altitud es

menor, por lo tanto, este es un punto de potencial aumento de los volúmenes de agua. En contraste, las construcciones de La Margarita se encuentran a una altitud de 2 124.6 m, con una diferencia de 13.6 m con respecto al flujo del agua, a la vez que el terraplén entre el cauce y las construcciones, está ocupado por un área de vegetación de 18 m (Figuras 10 y 11).

El procesamiento del MDE permite evidenciar, con base en los datos de altitud del relieve, que existen tres puntos de conflicto que presentan una mayor probabilidad de inundación debido a que las altitudes de las construcciones son menores con respecto al lecho del río Alseseca. Asimismo, se identificó que en el punto donde termina el revestimiento de concreto, existe una curva que genera turbulencia<sup>4</sup> del flujo y la acumulación de residuos sólidos. Esto significa que, al



**Figura 8.** Perfil del corte transversal 22. Fuente: Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución LiDAR, INEGI, 2012.

<sup>4</sup> En términos de la dinámica de fluidos, turbulencia o [flujo turbulento](#) es un régimen de flujo caracterizado por baja difusión de momento, alta convección y cambios espacio-temporales rápidos de [presión](#) y [velocidad](#).





**Figura 9.** Curvas de nivel del corte transversal 35 de La Hacienda. Fuente: Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución LiDAR, INEGI, 2012; Imagen satelital con resolución espacial de 10 cm, Universal Maps Downloader.

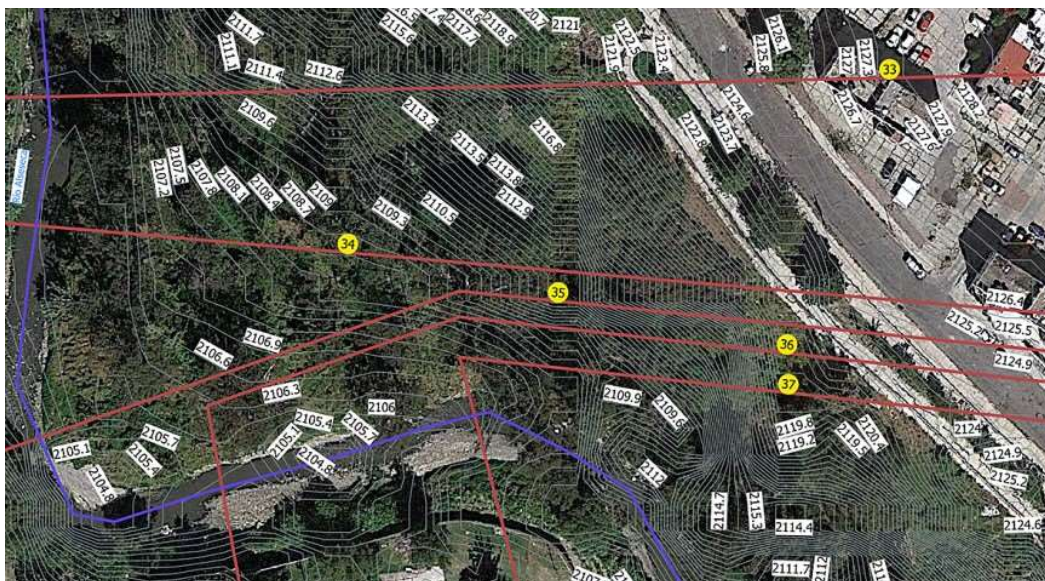
crecer el caudal del río (los volúmenes y el nivel del agua), los desbordamientos pueden ocasionar que las construcciones sean afectadas por la inundación de aguas contaminadas. Para corroborar estas afirmaciones, se realizaron análisis complementarios aprovechando los algoritmos disponibles en el programa QGIS 3.14, los cuales se detallan a continuación.

## Análisis del terreno

El cálculo de altitudes se realizó mediante un modelo *raster* en pseudocolor que se generó a partir del

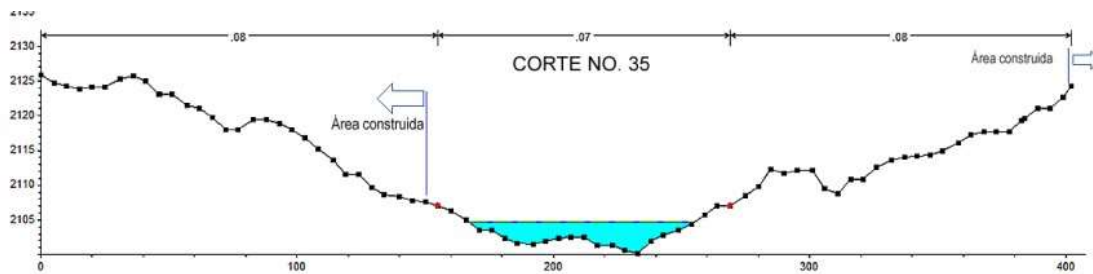
MDE, en el que los píxeles que representan los puntos de menor altitud aparecen en tonos opacos de color rojo y varían hacia tonos brillantes al aumentar la altitud, mientras que el rango oscila entre 2 101 m y 2 146 m. Se identificó, con base en este modelo, que La Hacienda cuenta con áreas de menor altitud (más extensas en comparación con La Margarita), las cuales oscilan entre 2 106 m y 2 116 m (Figura 12).

La superposición de capas vectoriales correspondiente a las manzanas y equipamientos urbanos, así como la capa *raster* correspondiente a las altitudes, se



**Figura 10.** Curvas de nivel del corte transversal 35 de La Margarita. Fuente: Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución LiDAR, INEGI, 2012; Imagen satelital con resolución espacial de 10 cm, Universal Maps Downloader.





**Figura 11.** Perfil del corte transversal 35. Fuente: Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución LiDAR, INEGI, 2012.

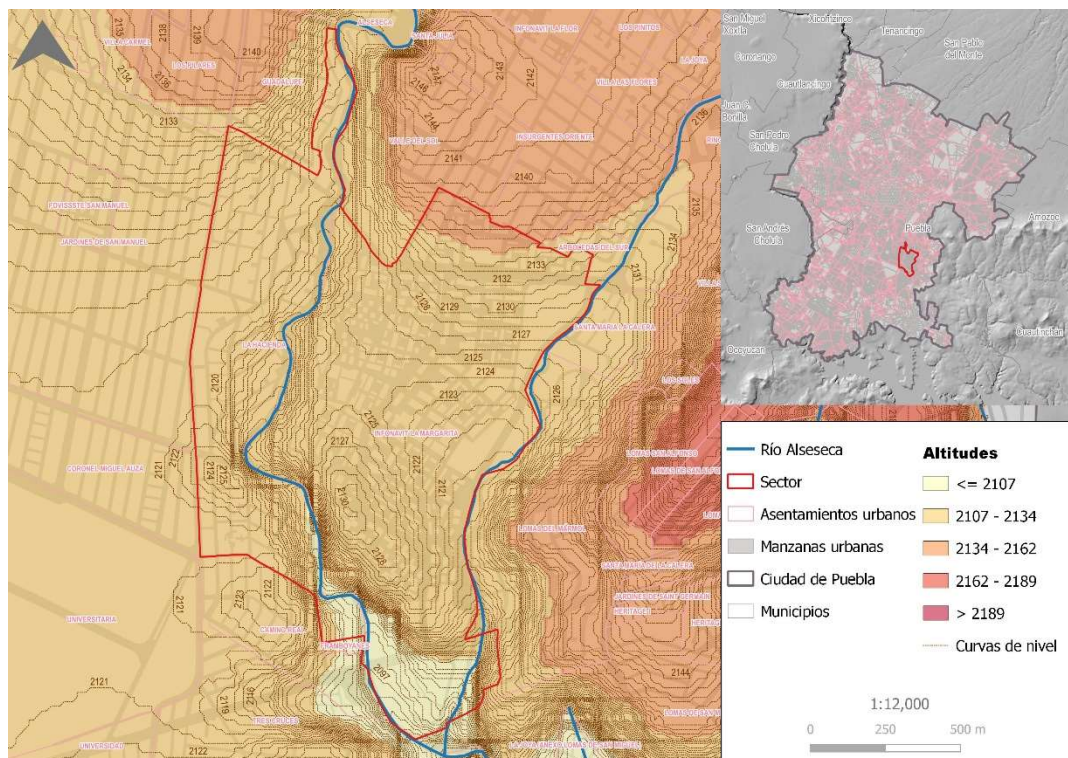
desplegaron para identificar las manzanas urbanas expuestas a las inundaciones. En este caso, la colonia La Hacienda presenta un área con una extensión aproximada de 259 360 m<sup>2</sup>, construida a una menor diferencia de altitud respecto al lecho del río; por otro lado, la Unidad Habitacional La Margarita presenta una extensión aproximada de 138 654 m<sup>2</sup>.

En el modelo de pendientes se calcularon rangos de valores de 0 a 35 grados de inclinación a partir del MDE. En este sentido, en el sector se identifican pendientes escarpadas que oscilan entre 33 y 35 grados en la Unidad Habitacional La Margarita, en contraste, la colonia La Hacienda presenta una pendiente de 16 grados respecto al cauce del río, lo que demuestra que esta última se construyó en un terraplén horizontal

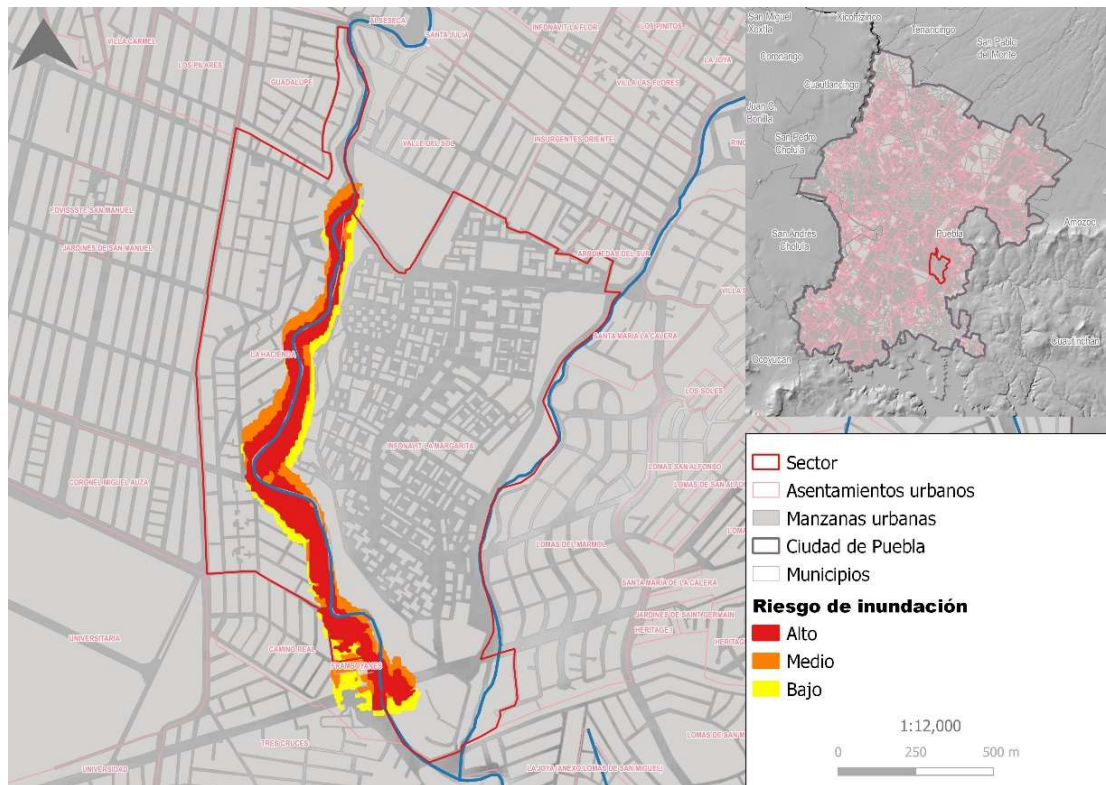
que aumenta las probabilidades de acumulación de los flujos de agua pluviales y fluviales.

## Zonificación del riesgo

En el programa QGIS 3.14 y HEC-RAS 5.0.3 se procesaron el MDE y los gastos históricos registrados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (SEDESOL, 2012), a partir de los cuales se obtuvieron tres polígonos que definen zonas de los niveles de riesgo de inundación. Para determinar los alcances máximos del flujo de agua se consideraron como parámetros el gasto de agua de 174 m<sup>3</sup>/s que corresponde a un nivel alto de riesgo, el gasto de 350 m<sup>3</sup>/s que corresponde a un nivel medio de riesgo y el gasto de 458 m<sup>3</sup>/s para un nivel bajo de riesgo (Figura 13).



**Figura 12.** Modelo Digital de Elevación. Fuente: Marco Geoestadístico, INEGI, 2019; Información vectorial de localidades ameznadas y números exteriores, INEGI, 2010; Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución LiDAR, INEGI, 2012.



**Figura 13.** Mapa de riesgo de inundación. Fuente: Marco Geoestadístico, INEGI, 2019; Información vectorial de localidades ameznadas y números exteriores, INEGI, 2010; Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Puebla, SEDSOL, 2012.

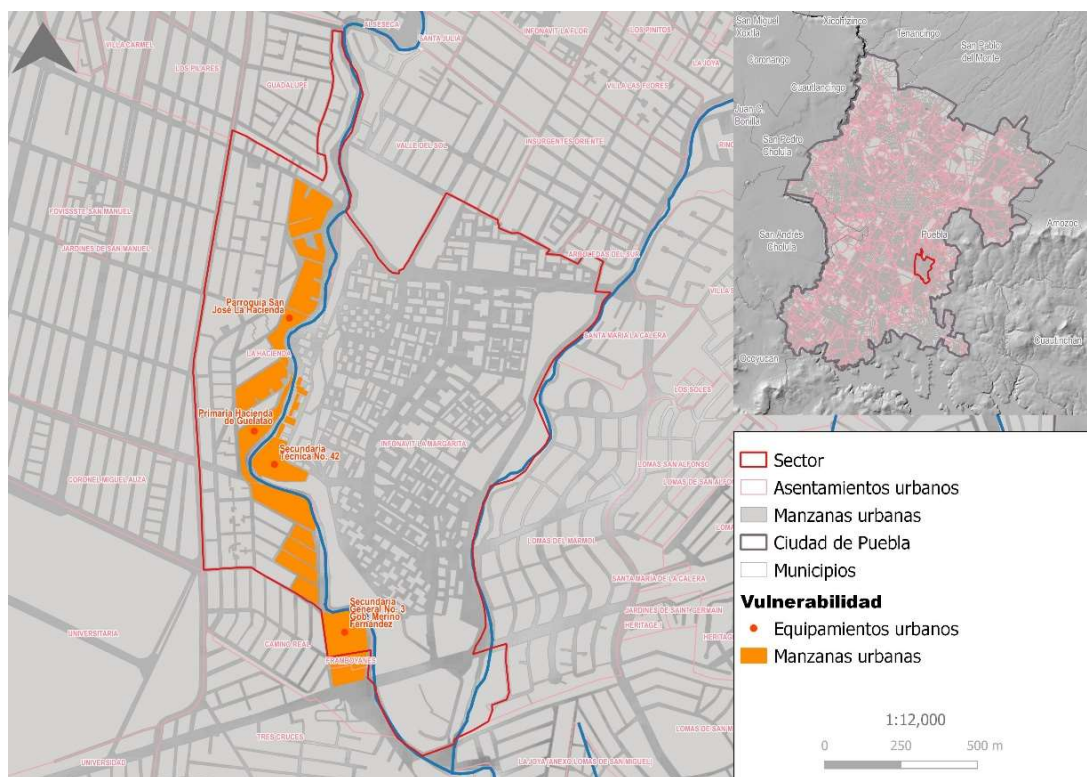
La vulnerabilidad física y social se identificó mediante la técnica *overlay mapping*, con base en los polígonos de las zonas de riesgo de inundación, las manzanas, los servicios urbanos y las construcciones (Instituto Registral y Catastral del Estado de Puebla, 2020). Los resultados muestran que hay 2 055 habitantes, 482 viviendas en 23 manzanas, 29 vialidades y cuatro equipamientos vulnerables, estos últimos, correspondientes a la Escuela Secundaria Técnica No. 42 ubicada en la calle 32 sur en La Margarita, la Escuela Primaria Hacienda de Guelatao ubicada en la calle Hacienda Vista Hermosa, la Escuela Secundaria No 3 “Aarón Merino Fernández” ubicada en la avenida San Claudio y la parroquia de San José La Hacienda ubicada en la calle de Coatepec, estos últimos situados en La Hacienda (Figura 14). Además de corroborar los resultados por medio de los recorridos de campo, se identificó que en estos puntos existen muros perimetrales de ladrillos que se colocaron debido a las situaciones de emergencia en los que se han afectado los bienes inmuebles y muebles.

## Conclusiones

La investigación da cuenta del riesgo de inundación del sector definido por la colonia La Hacienda y la Unidad Habitacional La Margarita, situación generada por el proceso de urbanización que implicó la excesiva modificación del cauce del río Alseseca mediante el estreñimiento del cauce y el revestimiento de concreto de los taludes, la baja regulación de la utilización del terreno y las carencias en los instrumentos de riesgo de desastre, escenario que coloca en condición de vulnerabilidad a la población y sus bienes. Asimismo, el propósito del estudio fue explicar los factores que inciden en el riesgo mediante el procesamiento de datos estadísticos y geográficos, bajo el sustento de la construcción social del riesgo con enfoque sistémico y multifactorial (Beck, 1998; Merlinsky y Tobías, 2016).

El procesamiento de datos del sector Hacienda-Margarita, correspondientes a las corrientes y gastos de agua, las altitudes, las pendientes y la rugosidad del terreno, permitieron definir los niveles de riesgo de





**Figura 14.** Mapa de vulnerabilidad. Fuente: Marco Geoestadístico, INEGI, 2019; Información vectorial de localidades ameznadas y números exteriores, INEGI, 2010.

inundación; además, los datos de las viviendas y equipamientos, las vialidades y las manzanas de ambos asentamientos urbanos, posibilitaron determinar las condiciones de vulnerabilidad. El análisis comparativo del sector evidencia que, aunque en los dos asentamientos urbanos existe riesgo y vulnerabilidad como consecuencia de la forma urbana, la topografía y la dinámica hídrica, cada asentamiento presenta diferencias en el nivel riesgo de inundación.

La importancia de los resultados que arrojó esta investigación, radica en el hecho de que pueden ser utilizados para la toma de decisiones en materia de planificación urbana y gestión de riesgos de desastres, con el objetivo de plantear estrategias precisas bajo el enfoque de la prevención, la mitigación y la resiliencia ante los riesgos de inundación, pero también, para la adaptación de los asentamientos urbanos y así reducir las rupturas con el medio natural.

## Referencias

- Baxendale, C., 2015, "Geografía, ordenamiento territorial y Sistemas de Información Geográfica. Articulaciones conceptuales para aplicaciones en la planificación y gestión territorial", in M. Miraglia y N. B. Caloni, *Sistemas de Información Geográfica en la investigación científica actual*, Buenos Aires, Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Beck, U., 1998, "La lógica del reparto de la riqueza y del reparto de los riesgos", in U. Beck, *La sociedad del riesgo*, Barcelona, Paidós, pp. 1-80.
- Buzai, G., Baxendale, C., Lanzelotti, S., Acuña, G., Humacata, L., and Principi, N., 2015, Análisis espacial y evaluación de zonas de potenciales conflictos ambientales, productivos y patrimoniales ante la expansión urbana en la cuenca del río Luján (Provincia de Buenos Aires, Argentina): *Anuario de la División Geografía*, ISSN: 1851-7897.
- CENAPRED, "Atlas Nacional de Riesgos. Recuperado", <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/atlas.html> [consultado el 2021]
- Chen, Y., 2022, Flood hazard zone mapping incorporating geographic information system (GIS) and multi-criteria analysis (MCA) techniques: *Journal of Hydrology*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128268>
- Dou, X., Song, J., Whang, L., Tang, B., Xu, S., Kong, F., and Jiang, X., 2018, Flood risk assessment and mapping based on a modified multiparameter flood hazard index



- model in the Guanzhong Urban Area, China: *Stoch Environ Res Risk Assess*, 1131-1146. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00477-017-1429-5>
- Flores-Lucero, M. L., Ramírez-Flores, J. M. y Milian-Ávila, G. M., 2016, Gestión colaborativa para disminuir el riesgo de inundación en el municipio de Puebla, *Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo*, Universitat Politècnica de Catalunya, BarcelonaTech, Barcelona-Balneário Camboriú. DOI:10.5821/siiu.6287
- García, R., 2006, "Conceptos básicos para el estudio de sistemas complejos", in R. García, *Sistemas Complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*, Barcelona, España, Gedisa, pp. 39-71.
- Gellert-de-Pinto, G.I., 2012, El cambio de paradigma: de la atención de desastres a la gestión del riesgo: *Boletín Científico Sapiens Research*, 2, 13-17. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3841348>
- Gobierno federal, 2021, "Ley General de Protección Civil. Ciudad de México", <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lpgc.htm> [consultado en 2021].
- INEGI, "Hidrografía", <https://www.inegi.org.mx/temas/hidrografia/#Descargas>
- INEGI, "Información vectorial de localidades ameznadas y números exteriores", <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/?t=0710000000000000&tg=3604>
- INEGI, "Modelo de Elevación Digital de Alta Resolución LiDAR", <https://www.inegi.org.mx/app/mapas/?tg=1015>
- INEGI, "Censo de Población y Vivienda 2020", <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Registral y Catastral del Estado de Puebla, "Portada Servicios Catastro", [https://www.ircep.gob.mx/portada\\_servicios\\_catastro.html](https://www.ircep.gob.mx/portada_servicios_catastro.html)
- Jafarzaghan, K., and Merwade, V., 2017, A DEM-based approach for large-scale floodplain mapping in ungaged watersheds: *Journal of Hydrology*, 550, 650-662. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.04.053>
- Liu, J., Wang, X., Zhang, B., Li, J., Zhang, J., and Liu, X., 2017, Storm flood risk zoning in the typical regions of Asia using GIS technology: *Nat Hazards*, 1691-1707. DOI: 10.1007/s11069-017-2843-1
- Lungu, M., 2001, Expansión de las ciudades en Centroamérica y generación de riesgos urbanos: *Realidad. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 79, 41-62. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4020831>
- Marskey, A., 2011, Revisiting community-based disaster risk: *Environmental Hazards*, 10, 1, 42-52. DOI: <https://doi.org/10.3763/ehaz.2011.0005>
- Merlinsky, M.G., and Tobías, M.A., 2016, Inundaciones y construcción social del riesgo en Buenos Aires. Acciones colectivas, controversias y escenarios futuros: *Cuadernos del Cendes*, 33, 91, 45-63. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1012-25082016000100004&lng=es&nrm=iso](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-25082016000100004&lng=es&nrm=iso)
- Mojtahedi, M., and Oo, B.L., 2016, Critical attributes for proactive engagement of stakeholders in disaster risk: *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 35-43. DOI: 10.1016/j.ijdr.2016.10.017
- Moya-Quiroga, V., Kure, S., and Udo, K., 2016, Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS versión 5: *Revista Iberoamericana del Agua*, 3, 25-33. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2386378116000025>
- Narváez, Q.I., Durán, S.G., Menoscal, C.J., and Bayón, J.M., 2020, Espacio urbano periférico y la construcción social del riesgo en ciudades intermedias: *Cuadernos de vivienda y urbanismo*, 13, 1-18. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu13.eupc>
- O'Keefe, P., Wastegate, K., and Wisner, B., 1976, Taking the naturalness out of natural disasters: *Nature*, 260, 566-567. <https://doi.org/10.1038/260566a0>
- Principi, N., and Buzai, G., 2021, "Mapa social y vulnerabilidad socioeconómica en la ciudad de Luján (Buenos Aires, Argentina)", in S.S. Villerías and N.G. Nochebuena, *Procesos Territoriales: un enfoque multidisciplinario*, Buenos Aires, Lugar Editorial, pp. 17-38.
- Ramírez, F.J., 2017, Gestión para la reducción del riesgo de inundación en el municipio de Puebla: Tesis de Doctorado, *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*, p. 136. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/1118>
- Ríos, C., 2020, Fragilidad urbana: una lectura del desastre desde los habitantes menos protegidos: *QUIVERA. Revista de Estudios Territoriales*, 22, 57-74. <https://doi.org/10.36677/qret.v22i1.12798>
- Salgado-Montes, S.S., 2020, Empoderamiento ciudadano para mitigar el riesgo de inundación. Caso colonia La Hacienda, Puebla, México: Tesis de Doctorado, *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla*, p. 118. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/10572>

- Salgado-Montes, S.S., Flores-Lucero, M.L., and Guevara-Romero, M.L., 2019, "Gestión del riesgo de inundación en la colonia La Hacienda. Hacia el empoderamiento ciudadano", in F. Iglesias-Suárez, *Humanidades y Ciencias de la Conducta*, 1, 61-77. [https://www.ecorfan.org/collections/Collection\\_Humanidades\\_y\\_Ciencias\\_de\\_la\\_Conducta\\_TI/Extenso/Collection\\_Humanidades\\_y\\_Ciencias\\_de\\_la\\_Conducta%20\\_TI.pdf](https://www.ecorfan.org/collections/Collection_Humanidades_y_Ciencias_de_la_Conducta_TI/Extenso/Collection_Humanidades_y_Ciencias_de_la_Conducta%20_TI.pdf)
- Schubert, J.E., and Sanders, B.F., 2012, Building treatments for urban flood inundation models and implications for predictive skill and modeling efficiency: ELSEVIER, 41, 49-64. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.02.012>
- SEDESOL, "Atlas de Riesgos Naturales Municipio de Puebla", <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/archivo/cob-atlas-municipales.html>
- UNDRR, "Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030", [https://www.unisdr.org/files/43291\\_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf)