



PROPUESTA DE ESTRATEGIAS ESTRUCTURALES PARA MITIGAR INUNDACIONES EN LA MICROCUENCA SANTA ROSA JÁUREGUI, QUERÉTARO

PROPOSAL OF STRUCTURAL STRATEGIES TO MITIGATE FLOODS IN THE SANTA ROSA JÁUREGUI MICRO-BASIN, QUERÉTARO

Dulce Sonia Oreano Hernández

Universidad Nacional Autónoma de México

Juan Alfredo Hernández Guerrero*

Universidad Autónoma de Querétaro

* juan.hernandez@uaq.mx

Resumen

En la zona metropolitana de Querétaro (ZMQ) se forman recurrentes y peligrosas inundaciones; para mitigarlas se han construido obras de infraestructura hidráulica focalizadas que no siempre toman en cuenta la dinámica hídrica del territorio. Por lo tanto, en el presente trabajo se diseñaron estrategias estructurales para la microcuenca Santa Rosa Jáuregui con el objetivo de contribuir a la mitigación de inundaciones en la periferia urbana de la ZMQ. Los métodos incluyen un análisis multicriterio con sistemas de información geográfica para determinar sitios prioritarios y el diseño de estrategias estructurales con la dinámica hídrica de la microcuenca. En los resultados se identificaron cuatro sitios prioritarios distribuidos entre la zona funcional media y la zona funcional baja de la microcuenca; además, se diseñaron cuatro estrategias estructurales para mitigar inundaciones. Se concluye con un trabajo que permitirá a la población y autoridades tener información y opciones para la toma de decisiones en la mitigación de inundaciones.

Palabras clave: estrategias estructurales; mitigación; riesgo; inundaciones.

Abstract

In the metropolitan area of Queretaro (ZMQ) recurrent and dangerous floods are formed; to mitigate them, focused hydraulic infrastructure works have been built; however, they do not always take into account the water dynamics of the territory. Therefore, in the present work, structural strategies were designed for the Santa Rosa Jáuregui micro-basin to contribute to flood mitigation in the urban periphery of the ZMQ. The methods include a multi-criteria analysis with geographic information systems to determine priority sites, and the design of structural strategies with the water dynamics of the micro-basin. The results present four priority sites distributed between the middle functional zone and the low functional zone of the micro-basin, and four structural strategies were designed to mitigate floods. This concludes with a work that will allow the population and authorities to have information and options for decision making in flood mitigation.

Keywords: structural strategies; mitigation; risk; floods.

Introducción

La gestión del riesgo y desastres socionaturales implica entender y atender múltiples y complejos procesos asociativos entre amenaza, vulnerabilidad y exposición, así como generar estrategias para conocer, prevenir, anticipar y mitigar (Alcantara-Ayala *et al.*, 2019). En este contexto, la formación e impacto de inundaciones suelen ser de interés especial en la gestión del riesgo, ya que son eventos recurrentes que se acompañan de daños y pérdidas materiales y humanas; también implican el constante diseño de estrategias y/o acciones, y esto, a su vez, requiere la noción multiescalar y multifactorial del fenómeno (Morrison *et al.*, 2018; Mavhura, 2019). Así, la gestión del riesgo vinculada con inundaciones debe tener una perspectiva integral y territorial; por lo mismo, el enfoque de cuenca hidrográfica podría ser una alternativa, ya que incluye la comprensión de la dinámica hídrica e interacción entre factores biofísicos y socioeconómicos, además de que permite entender el fenómeno desde su origen (ej. aguas arriba), sea por efectos acumulativos o zonas funcionales (Hartmann y Driessen, 2017).

El tema de las inundaciones bajo el enfoque de cuencas conlleva particularidades de abordaje según las condiciones del lugar; espacios naturales, rurales o urbanos. En espacios urbanos, el asunto se complejiza porque la cuenca se enfrenta a la reconfiguración territorial, proceso que suele involucrar un deficiente uso y manejo de ríos y cuerpos de agua, cambios de uso de suelo, ocupación de sitios susceptibles, coberturas nada o poco impermeables, alteraciones topográficas que acentúan avenidas torrenciales o anegaciones (Flores *et al.*, 2020). Por su parte, la periferia urbana es otro espacio idóneo en la formación de inundaciones por su acelerada transformación, fragilidad al cambio, escasa vigilancia, alteración hídrica o la ocupación de lugares lejanos y poco accesibles para el suministro de servicios públicos, sin dejar de mencionar que interactúan sistemas naturales, rurales y urbanos (Hernández *et al.*, 2012). Así, las inundaciones en espacios urbanos implican diversas aristas y particularidades, pero al vincular el enfoque de cuencas hidrográficas se puede identificar desde dónde y cómo se

forman, y repensar el tipo de estrategia que acompañe la gestión del riesgo. En este contexto, se reconocen estrategias estructurales a partir de obras para mitigar y prepararse para el posible impacto de la inundación, por ejemplo, presas, bordos u otras obras hidráulicas (Conagua, 2013; Zamora, 2017). Asimismo, se distinguen estrategias no estructurales para brindar información, orientación y regulación, sea el caso de planes, programas, normativa, entre otros (Chardon y González, 2002).

América Latina es una de las regiones que destaca por sus recurrentes y peligrosas inundaciones, y es común que se utilicen estrategias no estructurales, como programas, planes, diagnósticos y atlas de riesgos; por su parte, en las estrategias estructurales se recurre al mantenimiento de ríos y cuerpos de agua, rectificación de drenes, disposición de equipo de bombeo y, en menor medida, obras hidráulicas (Cepal, 2007). Cualesquiera de las estrategias señaladas requieren de recurso económico, voluntad política y participación social, lo cual difiere entre el discurso y la acción. Con base en lo mencionado, México es un ejemplo de lo que sucede en América Latina; sus 13 regiones hidrológico-administrativas (integradas por 37 regiones hidrológicas) presentan algún grado de peligro por inundaciones; sin embargo, en las regiones hidrológicas Lerma-Santiago y Pánuco (centro del país) las inundaciones se vinculan con estrés hídrico, contaminación de agua y 45,484,536 habitantes de ocho de las 13 ciudades grandes (Cenapred, 2019; Rivera-Godínez *et al.*, 2021; Ruiz-Magaña *et al.*, 2022). En esta sección central se encuentra la cuenca del río Querétaro, la cual alberga la zona metropolitana de Querétaro (ZMQ), misma que en los últimos 30 años registró 31 sitios susceptibles de inundación e incremento de población y superficie construida; en 1990 tenía 537,100 habitantes en 10,153 hectáreas de superficie urbana, y para 2020 tenía 1,530,820 habitantes en 17,748 hectáreas (UMPCQ, 2015; Rivera-Godínez *et al.*, 2021; Oreano-Hernández y Hernández-Guerrero, 2022).

El norte de la periferia urbana de la ZMQ se ha convertido en una vía emergente para el desarrollo urbano, propiciando la transformación de algunas secciones de las microcuencas, como el caso de la microcuenca Santa

DULCE SONIA OREANO HERNÁNDEZ, JUAN ALFREDO HERNÁNDEZ GUERRERO

sistema de información geográfica (SIG) en el programa ArcMap 10.0 (ESRI, 2013), donde se elaboró una capa de puntos (eventos inundables) en formato vectorial y, a partir de la frecuencia de eventos, se definieron cinco clases, siendo 1 muy baja y 5 muy alta susceptibilidad a inundaciones.

Una vez definidos los puntos inundables, se adicionaron las zonas funcionales de la MSRJ, las cuales se obtuvieron del aporte de Oreano-Hernández y Hernández-Guerrero (2022), a través de una capa de formato vectorial, distribuidas de la siguiente forma: alta [captación de agua], media [transporte de agua] y baja [descarga de agua].

Determinación de la vulnerabilidad biofísica y socioresidencial

La determinación de la vulnerabilidad biofísica se obtuvo a partir del aporte de Zúñiga y Magaña (2018), mismos que emplearon una suma lineal con álgebra de mapas. El proceso requirió de seis capas (Tabla 1) obtenidas o elaboradas con los aportes del Inegi (1973), Xu *et al.* (2011), Inegi (2015), Conagua (2018) y SGM (2018). Cada capa se reclasificó en cinco clases, después se aplicó la suma lineal y el resultado nuevamente se reclasificó en cinco clases.

Tabla 1
Factores considerados para la vulnerabilidad biofísica

Variable (capa)	1 = Menor vulnerabilidad (-) 5 = Mayor vulnerabilidad (+)	
Escurrimiento en la micro-cuenca (k) (edafología)	1: Litosol + Textura gruesa + Terreno montañoso 1 = Escurrimiento de agua	5: Vertisol pélico + Textura fina + Terreno plano 5 = Acumulación de agua
Pendiente del terreno (α)	1: Áreas montañosas 1 = α > a 1%	5: Áreas planas 5 = α < a 1%

Precipitación media anual	1: Áreas con 440 mm 1 = Cantidad precipitada	5: Áreas con 690 mm 5 = Cantidad precipitada
Litología	1: Mayor permeabilidad 1 = Menor acumulación	5: Menor permeabilidad 5 = Mayor acumulación
Uso de suelo y vegetación	1: Matorral 1 = Escurrimiento bajo	5: Zona urbana 5 = Escurrimiento alto
Nodos de concentración de agua	1: Pendiente >1% + Orden menor a 2 1 = Mayor movimiento de flujo	5: Pendiente <1% + Orden mayor a 2 5 = Menor movimiento de flujo

Fuente: elaboración propia

En lo que respecta a la vulnerabilidad socioresidencial, se utilizó el método de Ruiz-Magaña *et al.* (2022). En el procedimiento se utilizó información del censo de población y vivienda (Inegi, 2020), representada por Área Geostatística Básica (AGEB). A partir de la información censal se definieron tasas para homologar la información (Tabla 2) y posteriormente se integraron al programa SPSS para aplicar un análisis de componentes principales. Con el primer factor resultante del análisis de componentes principales (primeras tres componentes > = 70% de varianza acumulada) se definieron cinco niveles de vulnerabilidad con la técnica de rangos iguales para ser representados en una capa en formato vectorial.

Tabla 2
Tasas, variables y cálculos para la vulnerabilidad socioresidencial

ID	Tasas	Variables y cálculos
1	Dependencia demográfica	[(Población de 0 a 14 años + Población > a 65) / Población de 15 a 64 años] *100
2	Población infantil	[(Población de 0 a 14 años / Población total) *100
3	Población mayor a 65 años	(Población de 65 años y más / Población total) *100

DULCE SONIA OREANO HERNÁNDEZ, JUAN ALFREDO HERNÁNDEZ GUERRERO

4	Población activa	$(\text{Población ocupada} / \text{Población de 15 años y más}) * 100$
5	Población desocupada	$(\text{Población desocupada} / \text{Población económicamente activa}) * 100$
6	Instrucción insuficiente	$(\text{Población de 15 a. y más analfabeta} + \text{Población de 15 años y más sin escolaridad}) / (\text{Población de 15 a 64 años}) * 100$
7	Sin derechohabencia a servicios de salud	$(\text{Población sin derechohabencia a servicios de salud}) / \text{Población total} * 100$
8	Viviendas particulares con piso de tierra	$(\text{Viviendas con piso de tierra} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
9	Viviendas particulares con dos cuartos	$(\text{Viviendas con dos cuartos} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
10	Viviendas particulares habitadas que no disponen de luz eléctrica	$(\text{Viviendas sin luz eléctrica} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
11	Viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda	$(\text{Viviendas sin agua} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
12	Viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje	$(\text{Viviendas sin drenaje} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
13	Viviendas particulares habitadas que no disponen de computadora	$(\text{Viviendas sin computadora} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
14	Viviendas particulares habitadas que no disponen de teléfono fijo	$(\text{Viviendas sin teléfono fijo} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
15	Viviendas particulares habitadas que no disponen de lavadora	$(\text{Viviendas sin lavadora} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$
16	Viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador	$(\text{Viviendas sin refrigerador} / \text{Total de viviendas particulares habitadas}) * 100$

Fuente: elaboración propia con información del Inegi (2020)

Determinación de riesgo por inundación en zonas funcionales

En esta fase se aplicó el método de Rivera-Godínez *et al.* (2021), el cual consiste en un análisis multicriterio, esto es, una suma lineal ponderada en el SIG. Este ejercicio utilizó las capas (variables) obtenidas en las fases anteriores y señaladas en la Tabla 3, pero en este caso fueron transformadas a formato *raster*. Después se definió la ponderación (pesos) para cada una de las capas a través de un análisis jerárquico con el programa Super Decisions; la ponderación se definió con revisión bibliográfica, la opinión de cinco expertos y la experiencia del equipo de trabajo. En el módulo de álgebra de mapas de ArcMap se realizó la suma de capas con la respectiva ponderación y se obtuvo la capa de distribución espacial del fenómeno. Finalmente, a la capa se agregaron las zonas funcionales y después se realizó trabajo de campo para corroborar o corregir información.

Tabla 3
Asignación de valores a cada indicador de los componentes del riesgo

Componente de riesgo	Variable	Riesgo por inundación en la MSRJ		Valor de ponderación
		(-) -----	(+)	
Amenaza	Zonas de inundación	Frecuencia de eventos = 1	Frecuencia de eventos = 13	0.25
	Precipitación media mensual	5 minutos	1440 minutos	0.06

DULCE SONIA OREANO HERNÁNDEZ, JUAN ALFREDO HERNÁNDEZ GUERRERO

Vulnerabilidad biofísica	Edafología	Infiltración	Escorrentamiento	0.10
	Pendiente	Mayor a 1 %	Menor a 1 %	0.09
	Litología	Unidades permeables	Unidades impermeables	0.10
	Uso de suelo y vegetación	Mayor vegetación	Mínima o sin vegetación	0.09
	Nodos de concentración	Unión de escurrimientos de 1er y 2do orden	Unión de escurrimientos de 3er y 4to orden	0.03
Vulnerabilidad socioresidencial	Condición socioresidencial	Susceptibilidad baja	Susceptibilidad alta	0.28

Zonas prioritarias para la aplicación de estrategias de mitigación

Las zonas prioritarias dentro de la MSRJ enmarcan aquellas zonas donde se requiere la intervención. Con base en las zonas de riesgo, se llevó a cabo un ejercicio comparativo entre variables biofísicas, unidades de gestión ambiental (Municipio de Querétaro, 2014) y del comportamiento de agua superficial y el subsuelo (Oreano-Hernández y Hernández-Guerrero [2022] [Tabla 4]). A cada variable se le asignó el valor de un ID, entonces, un sitio con baja prioridad es cuando ≤ 2 , o bien, un sitio prioritario es cuando 3. Para definir sitios prioritarios se consideraron dos aspectos: 1) distribución de vulnerabilidad socioresidencial sobre drenes o cauces y espacios donde se pueda construir obras e infraestructura, y 2) zona funcional con unidades hidrogeomorfológicas de alta permeabilidad y unidades de gestión ambiental con uso urbano.

Fuente: elaboración propia a partir de Rivera-Godínez *et al.* [2021]

Tabla 4
Asignación de valores para priorizar zonas de riesgo por inundaciones

ID	Unidad	Variable	Condición	Parámetro de inundación	Zona prioritaria (ZP)	
					$\sum ID \leq 2$	$\sum ID \geq 3$
1	1	Riesgo por inundación	Social	De medio a alto riesgo por inundación		
2	1	Unidad de escurrimiento	Biofísico	Punto de salida de unidad de escurrimiento		
3	1	Densidad de drenaje	Biofísico	Convergencia de uno o dos cauces	Zona prioritaria baja si: $\sum ID \leq 2$	Zona prioritaria alta si: $\sum ID \geq 3$
4	1	Densidad de población	Social	Ocupación de cauce	Por ejemplo: $ZP = 1 + 4 = 2$	Por ejemplo: $ZP = 1 + 9 + 2 + 10 = 4$
5	1	Llanura de inundación	Biofísico	Dentro de la llanura	(Menos unidades acumuladas)	(Más unidades acumuladas)
6	1	Resistencia infraestructura	Social	Alto riesgo en infraestructura		
7	1	Unidad hidrográfica	Biofísico	Cauce y/o canal		
8	1	Sedimentología	Biofísico	Unidad hidrogeomorfológica		
9	1	Inundaciones históricas	Social	Frecuencia de inundación		
10	1	Unidades geomorfológicas	Biofísico	Llanura de inundación		

Fuente: elaboración propia

DULCE SONIA OREANO HERNÁNDEZ, JUAN ALFREDO HERNÁNDEZ GUERRERO

Diseño de estrategias estructurales

Las estrategias estructurales se diseñaron con fundamentos de ingeniería civil y naturalística (Palmeri *et al.*, 2002), manejo de cuencas (Pineda *et al.*, 2005) y consideraciones del método de causa-efecto (Reid, 1998). Este proceso consistió en la elaboración de una matriz donde se llevó a cabo la revisión y relación comparativa entre el flujo de agua cuenca arriba, las características de la red hídrica y el nivel de riesgo ante inundaciones. Finalmente, se diseñaron las estructuras y, al mismo tiempo, se realizó trabajo de campo para validar o corregir los modelos.

Resultados y discusión

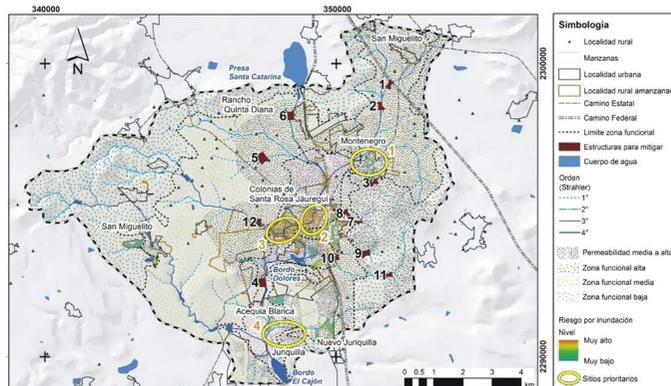
Sitios prioritarios de riesgo ante inundaciones en la MSRJ

Las áreas con mayor riesgo por inundación se presentaron en la zona funcional media y la zona funcional baja; 264 casas en riesgo alto, 1,995 en riesgo medio y 2,519 en riesgo bajo. Por su parte, en menor medida, la zona funcional alta también se incluye en la formación de inundaciones, donde la alteración por cambio de uso de suelo a urbano incide directamente en las inundaciones de las zonas funcionales media y baja.

En la Figura 2 se muestran los cuatro sitios prioritarios para establecer estrategias de mitigación. El primer sitio corresponde a la zona funcional media, específicamente en la llanura de inundación con nivel medio de riesgo. El segundo sitio está en la zona funcional baja e incluye la llanura de inundación, drenes de tercer orden y un nivel medio de riesgo. El tercer sitio también se encuentra sobre la llanura de inundación, colinda con escurrimientos de cuarto orden y tiene un nivel muy alto de riesgo. Finalmente, el cuarto sitio, ubicado entre la zona funcional media y baja, coincide con el punto de salida de la llanura de inundación y tiene un nivel alto de riesgo. Estos resultados ejemplifican lo expuesto por Hartmann y Driessen (2017), ya que las obras de ingeniería son una salida emergente, pero es necesaria la reconversión de la gestión del riesgo, sea a través de la planeación espacial e hídrica; en este caso no se perciben intervenciones óptimas en esos temas.

Figura 2

Sitios prioritarios en la MSRJ



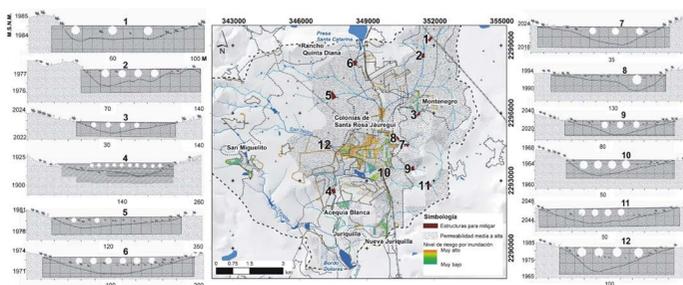
Fuente: elaboración propia con base en el Inegi (2015)

Estrategias estructurales para mitigar el riesgo por inundación

En los sitios prioritarios 1 y 2 se diseñó la primera estrategia estructural. Esos sitios no cuentan con intervención y, por lo mismo, se propone construir bordos y aprovechar el agua (Figura 4). El lugar para la colocación de los bordos está compuesto por rocas con permeabilidad media a alta, depósitos de fluviales y piroclastos; a su vez, estarían aguas arriba de los asentamientos humanos. La Conagua (2011) incluye esta obra como parte de la “política resistente”, al tiempo que la construcción sea de material impermeable como concreto y mampostería, aunque también señala la viabilidad de utilizar materiales permeables para facilitar la infiltración de agua al acuífero.

Figura 3

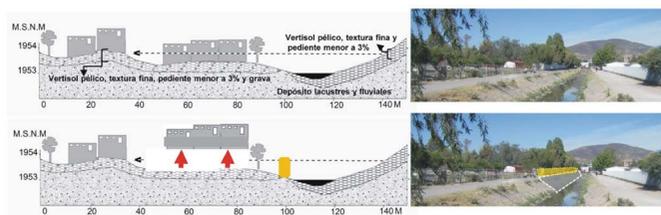
Bordos para mitigar inundaciones en los sitios prioritarios 1 y 2



Fuente: elaboración propia

La segunda estrategia se llevaría a cabo en el sitio prioritario 3. Este sitio está en la llanura de inundación y cuenta con depósitos fluviales, suelo vertisol pélico y grava. El gasto máximo es 169.5 de m³/h en un periodo de cinco años y una precipitación de 47.82 en una hora. Por lo tanto, la estrategia basada en los aportes de la Conagua (2011) sería incluir una barrera de contención, o bien, elevar la estructura (entre la cota 1953 a 1954 msnm), aunque esta segunda opción sería muy costosa (Figura 4, flechas rojas). Para la zona del cauce canalizado, es recomendable incluir un dique con el uso de gaviones a la altura de un metro (de 1953 a 1954) y paralela a la altura del margen derecho del cauce (Figura 4, bloque amarillo) para aprovechar las condiciones de las unidades hidrogeomorfológicas de alta permeabilidad de esta zona funcional.

Figura 4
Construcción de diques sobre en el dren Santa Rosa Jáuregui

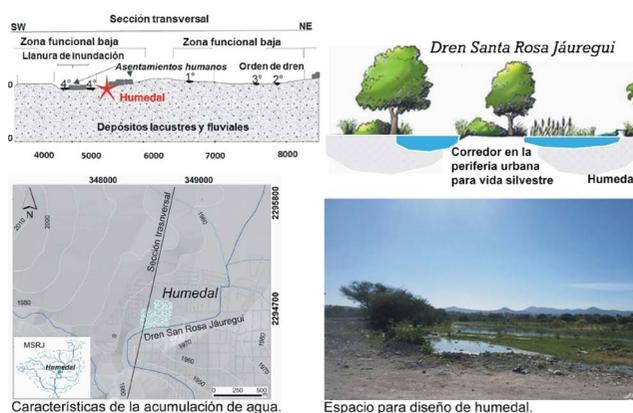


Fuente: elaboración propia

La tercera estrategia estructural se implementaría en el sitio prioritario 3. Este sitio tiene material permeable al subsuelo y acumulación de agua de cuatro unidades de escurrimiento, así como de la presa Santa Catarina. La estrategia para mitigar inundaciones sería la construcción de un humedal en la margen del dren Santa Rosa Jáuregui (Figura 5), lo que permitirá la incorporación de agua al subsuelo y aporte a la biodiversidad. En el trabajo de Pattison-Williams *et al.* (2018) se controlaron inundaciones y también redujo el flujo de contaminantes por las descargas residuales aguas arriba. La cuarta estrategia estructural sería en el sitio prioritario 4. Este sitio está urbanizado y durante las precipitaciones máximas, desde cuenca arriba, los escurrimientos registran un gasto

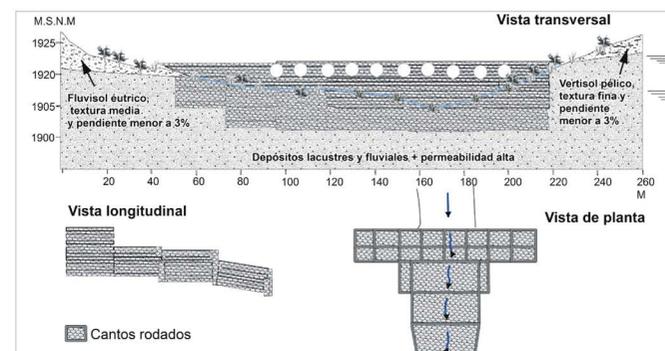
máximo de 234.39 m³/h en un periodo de retorno de cinco años con duración de 60 minutos. Por lo tanto, la estrategia sería formar una presa de gaviones aguas arriba del área urbana de Juriquilla donde se combine mampostería y material vegetal para reducir la velocidad de agua y el flujo vertical asociado con el dren Juriquilla (Figura 6). Con base en Santana-Sornoza y Lima-Guamán (2021), las presas de gaviones son una buena opción, a la vez que requieren de mínimo mantenimiento, no presentan agentes corrosivos y resisten la acción del agua.

Figura 5
Área de acumulación de agua con la propuesta de un humedal



Fuente: elaboración propia

Figura 6
Diseño de estrategia estructural para el sitio prioritario 4



Fuente: elaboración propia

Reflexiones finales

Este trabajo determinó que la MSRJ presenta, en lo general, riesgo de inundaciones de nivel medio, pero en lo particular, en la zona funcional media y la zona funcional baja, el nivel de riesgo es alto a muy alto respectivamente. En los cuatro sitios prioritarios identificados, la ocupación de la llanura de inundación está precedida por cambios de uso de suelo a urbano, así como alteración de cauces y depresiones topográficas que acelera la formación de inundaciones en el temporal de lluvias.

Este trabajo expuso cuatro estrategias estructurales relacionadas con sitios prioritarios según la zona funcional media y baja de la microcuenca; las estrategias estructurales fueron diseñadas bajo los principios de ingeniería civil e ingeniería naturalística para mantener el menor impacto ambiental posible. Además, las estrategias estructurales se diseñaron en sitios específicos tomando en cuenta la dinámica hídrica; por lo mismo, podrían ser consideradas en las acciones de cambio de uso de suelo, o bien, evitar ese cambio en el sitio o cercano a la propuesta.

Cabe decir que cualquier obra hidráulica para mitigar inundaciones requiere de un estudio, y ese estudio debe estar sujeto a la normativa vigente y al enfoque de cuencas, pues la distribución espacial en los cambios de uso de suelo a urbano y su planeación en la microcuenca no van de la mano, ya que se percibió que las obras hidráulicas se construyen posteriormente al cambio de uso de suelo, cuando se requiere de mayor recurso económico o modificaciones extremas al lugar. Por lo tanto, el enfoque de cuencas hidrográficas dimensiona la inundación no sólo desde un punto de vista simple y focal, sino sistémico, donde se permite analizar los efectos acumulativos en la construcción de las inundaciones, tras lo cual se optimicen esfuerzos y recursos.

Finalmente, las estrategias estructurales no se diseñaron exclusivamente bajo las condiciones del foco de inundación, sino a través del recorrido del flujo de agua, mismo que se acompaña de parámetros biofísicos y sociales. En este sentido, los resultados señalaron a las zonas funcionales media y baja de atención prioritaria, pero la zona funcional alta debe ser preservada, pues aún no

se han realizado cambios significativos. Por lo tanto, los aportes de este trabajo permitirán a la población y autoridades tener información y opciones para la toma de decisiones en la mitigación de inundaciones y en el planeamiento urbano y territorial.

Referencias bibliográficas

- Alcántara-Ayala, I., Garza-Salinas, M., López-García, A., Magaña-Rueda, V., Oropeza-Orozco, O., Puente-Aguilar, S., Rodríguez-Velázquez, D., Lucatello, S., Ruiz-Rivera, N., Tena-Núñez, A., Urzúa-Venegas, M. y Rangel-Vázquez, G. (2019). "Gestión Integral de Riesgo de Desastres en México: reflexiones, retos y propuestas de transformación de la política pública desde la academia". *Investigaciones Geográficas*, (98), 00002. <https://doi.org/10.14350/rig.59784>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred). (2019). *Atlas Nacional de Riesgos*. México: Cenapred. Recuperado de: <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/>
- Chardon, A., y González, J. (2002). *Ejecución del componente II. Indicadores para la Gestión de Riesgos*. Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de <http://www.geosci.usyd.edu.au/users/prey/Teaching/Geos-2111GIS/Ref/GA4267-IdentifyingRisks.pdf>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). (2007). *Información para la gestión de riesgo de desastres. Estudio de caso de cinco países*. México: Cepal/BID.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2011). *Manual para control de inundaciones*. Semarnat.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2013). *Manual para el control de inundaciones*. Recuperado de: https://backend.aprende.sep.gob.mx/media/uploads/proedit/resources/manual_para_el_contr_d6bbce9f.pdf
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2018). Red de estaciones climatológicas. México: Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacionclimatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Economic and Social Research Institute (ESRI). (2013). Software ArcGis, versión 10.0. EE.UU.: ESRI.
- Flores, A.P., Giordano, L. y Ruggerio, C.A. (2020). "A basin-level analysis of flood risk in urban and periurban areas: A case

- study in the metropolitan region of Buenos Aires, Argentina”. *Heliyon*, 6(18), e04517. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04517>
- García, E. (2016). *La respuesta al riesgo asociado a inundaciones. Acciones y estrategias de los habitantes de Santa Rosa Jáuregui, Querétaro*. [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- García, L., y Hernández, J. (2015). “Capacidades de respuesta de los habitantes de Santa Rosa Jáuregui al riesgo asociado a inundaciones en la ciudad de Querétaro, México”. *Digital CIENCIA@UAQ*, 8(2), 1-17.
- Hartmann, T. y Driessen, P. (2017). “The flood risk management plan: towards spatial water governance”. *Journal of Flood Risk Management*, (10), 145-154. Doi: <https://doi.org/10.1111/jfr3.12077>
- Hernández, J., Vieyra, M. y Mendoza, M. (2012). “Adaptation strategies in communities under precarious housing: Flooding risks in the peri-urban sector of the city of Morelia, Michoacán, México”. *Applied Geography*, 34, 669-679.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (1973). *Carta edafológica. Querétaro. Escala 1:50000*. México: Inegi. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/default.html#Descargas>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (2015). Datos vectoriales de cartas topográficas básicas: F14C56 y F14C65. México: Inegi.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (2020). *Censo de población y vivienda 2020*. México: Inegi. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html#Tabulados>
- Mavhura, M. (2019). “Analysis drivers of vulnerability to flooding: a systems approach”. *South African Geographical Journal*, 101(1), 72-90.
- Morrison, A., Westbrook, C.J. y Noble, B.F. (2018). “A review of the flood risk management governance and resilience literature”. *Journal of Flood Risk Management*, 11(3), 291-304. Doi: <https://doi.org/10.1111/jfr3.12315>
- Municipio de Querétaro. (2014). Programa de Ordenamiento Local del Municipio de Querétaro. *Gaceta Municipal*, 2(36). Recuperado de: <https://municipiodequeretaro.gob.mx/wp-content/uploads/PROGRAMA-DE-ORDENAMIENTO-ECOL%C3%93GICO.docx.pdf>
- Oreano-Hernández, S. y Hernández-Guerrero, J. (2022). “Inundaciones por zonas funcionales en la subcuenca Santa Rosa Jáuregui, Querétaro, México”. *Revista Geográfica de América Central*, 68(1), 238-264.
- Palmeri, F., Silván, Calo, P., Balboni, M. y García, I. (2002). *Manual de Técnicas de Ingeniería Naturalística en Ámbito Fluvial*. España: Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco.
- Pattison-Williams, J., Pomeroy, J., Badiou, P. y Gabor, S. (2018). “Wetlands, flood control and ecosystem services in the Smith Creek drainage basin: A case study in Saskatchewan, Canada”. *Ecological Economics*, 147, 36-47. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.12.026>
- Pineda, R.L., Domínguez, M.C., Hernández, S.L. y Ventura R., E. (2005). *Microcuencas y Desarrollo sustentable: Tres casos en Querétaro*. México: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Reid, L.M. (1998). “Accumulative watershed effects and watershed analysis”. En Naiman, R.J. y Robert, E.B. (eds.), *River Ecology and Management: Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion* (476-501). EE.UU.: Springer-Verlag.
- Rivera-Godínez, F., Ruiz-Magaña, P. y Hernández-Guerrero, J. (2021). “Inundaciones y uso de suelo en la ciudad de Querétaro”. *Revista NTHE*, (37), 38-46.
- Ruiz-Magaña, P., Rivera-Godínez, F. y Hernández-Guerrero, J. (2022). “Capacidad de respuesta ante inundaciones en sectores con vulnerabilidad social de la delegación Félix Osores Sotomayor del municipio de Querétaro”. *Acta Universitaria*, 32, e3282. Doi: <https://doi.org/10.15174/au.2022.3282>
- Santana-Sornoza, H. y Lima-Guamán, P. (2021). “Propuesta de obra para el control de inundaciones en la cuenca baja del río Portoviejo, sector el Horcón-Ceibal, cantón Rocafuerte-Manabí-Ecuador”. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(9), 2305-2331. Doi: <https://doi.org/10.23857/pc.v6i9.3168>

DULCE SONIA OREANO HERNÁNDEZ, JUAN ALFREDO HERNÁNDEZ GUERRERO

- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2018). Datos vectoriales de las cartas F14-10 y F14-C55. Recuperado de: <https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/>
- Unidad Municipal de Protección Civil Querétaro (UMPCQ). (2015). *Atlas de riesgos del municipio de Querétaro 2015*. México: Municipio de Querétaro/UMPCQ/Sigema.
- Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). (2009). *Actualización del Plan Maestro Pluvial de la Zona Metropolitana de Querétaro 2008-2025*. Recuperado de: <http://implanqueretaro.gob.mx/im/st/5/2/1/PlanMaestroPluvial2008-2025.pdf>
- Xu, S., Nieto-Samaniego, A., Alaniz-Álvarez, S. y Cerca-Martínez, L. (2011). "Structural analysis of a relay ramp in the Querétaro graben, central Mexico: Implications for relay ramp development". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 28(2), 275-289.
- Zamora, L. (2017). *Estrategias de mitigación y respuesta ante el impacto de inundaciones en la microcuenca del río Tigre, Guanajuato*. [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Zúñiga, E. y Magaña, V. (2018). "Vulnerability and risk to intense rainfall in Mexico: The effect of land use cover change". *Investigaciones geográficas*, (95), 1-18. Doi: [dx.doi.org/10.14350/riig.59465](https://doi.org/10.14350/riig.59465)