

Revisión de la ocurrencia de inundaciones en la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P. en el periodo 2014-2021

Review of the occurrence of floods in the city of San Luis Potosí, S.L.P. for the period 2014-2021

Perez Ramos, Nancy Lorena; Cisneros Almazán, Rodolfo; Durán García, Héctor Martín

 Nancy Lorena Perez Ramos ¹
lorena-nlp@outlook.com
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

 Rodolfo Cisneros Almazán ²
cisnerro@uaslp.mx
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

 Héctor Martín Durán García ³
hduran@uaslp.mx
Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

DECUMANUS. REVISTA INTERDISCIPLINARIA SOBRE ESTUDIOS URBANOS.

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México
ISSN: 2448-900X
ISSN-e: 2448-900X
Periodicidad: Semestral
vol. 10, núm. 10, 2022
decumanus@uacj.mx

Recepción: 20 Junio 2022
Corregido: 26 Enero 2023
Publicación: 31 Mayo 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/651/6514096002/>

DOI: <https://doi.org/10.20983/decumanus.2023.1.2>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: El crecimiento de la ciudad, la impermeabilización de los suelos, y el tiempo de concentración de la lluvia provocan un incremento de las inundaciones urbanas que se ha convertido en un problema. Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) se muestran como una solución capaz de mejorar los aspectos críticos relacionados con las escorrentías, y a su vez mejoran la sostenibilidad y la resiliencia de la ciudad. En el presente escrito se analizan las inundaciones que tuvieron lugar en el periodo 2014-2021 en la ciudad de San Luis Potosí, México, mediante la elaboración de una base de datos que incluye la distribución espacio-temporal, la estacionalidad de las inundaciones provocadas por las lluvias, así como un recuento de las medidas que se implementaron para la mitigación de este fenómeno. En segundo lugar, se realiza la revisión de las políticas actuales del manejo del agua de lluvia para finalmente dar recomendaciones para la implementación de SUDS. Los hallazgos encontrados indican la existencia de inundaciones cada vez más frecuentes y de mayor intensidad en la zona urbana, además de la falta de políticas actuales para el manejo del agua pluvial con soluciones sostenibles. Es necesario realizar estudios interdisciplinarios para la implementación de estrategias e intervenciones sostenibles adaptadas a la situación socioeconómica local y al entorno cultural.

Palabras clave: inundaciones, gestión de aguas pluviales, sistemas urbanos de drenaje sostenible.

Abstract: The growth of the city, the impermeabilization of soils, and the time of concentration of rainfall cause an increase in urban flooding, which has become a problem. Sustainable urban drainage systems (SUDS) are shown as a solution capable of improving the critical aspects related to runoff, and in turn improve the sustainability and resilience of the city. This paper analyzes the floods that took place in the period 2014-2021 at San Luis Potosí, Mexico, through the development of a database that includes the spatio-temporal distribution, the seasonality of floods caused by rainfall, as well as an account of the measures that were implemented for the mitigation of this phenomenon. Secondly, a review of the current rainwater management policies is carried out to finally give recommendations for the implementation of SUDS. The findings indicate the existence of more frequent and more intense flooding in the urban area,

in addition to the lack of current policies for the management of rainwater with sustainable solutions. Interdisciplinary studies are needed for the implementation of sustainable strategies and interventions adapted to the local socioeconomic situation and cultural environment.

Keywords: Floods, Stormwater Management, Sustainable Urban Drainage Systems.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones pluviales se han convertido en una amenaza común para las áreas urbanas (Qi et al., 2020), entre los diversos peligros hidrometeorológicos, estas se identifican como los peligros más devastadores del mundo (Towfiqul Islam et al., 2021), resultando en graves pérdidas económicas, sociales y ecológicas, lo que las ha convertido en una preocupación constante (Wang et al., 2020).

Debido al incremento de la población, la acelerada urbanización y el cambio climático global, la frecuencia de ocurrencia y la intensidad de las inundaciones urbanas ha aumentado gradualmente (Dong et al., 2021; Shah et al., 2020). En la figura 1 se observa la ocurrencia de desastres por inundación a nivel mundial de los últimos 32 años, según la base de datos de análisis de eventos de emergencia (EM-DAT); estos datos son recopilados por el Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED (2022) y están disponibles gratuitamente. La figura muestra que los países con más eventos son Indonesia, Filipinas, Afganistán, India, China, Pakistán, República Islámica de Irán, Estados Unidos de América, Tailandia y Vietnam.

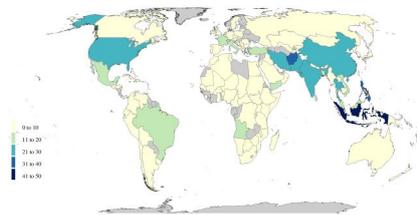


FIGURA 1.

Número de eventos de desastres por inundaciones repentinas, 1990 a 2022

Fuente: -EM-DAT,CRED/UCLouvain,Brussels,Belgium - <https://www.emdat.be/>

En el análisis de los desastres registrados que se muestra en la figura 2, se observa que existe una discrepancia entre las personas afectadas, pérdidas económicas y pérdidas humanas, estas últimas en promedio se registran en un mayor número en países de bajos ingresos, mientras que los países desarrollados de Europa y América del Norte han sufrido principalmente pérdidas económicas.

NOTAS DE AUTOR

- 1 Estudiante de doctorado en el Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- 2 Profesor investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- 3 Profesor investigador en el Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

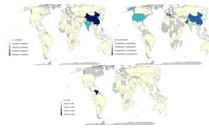


FIGURA 2.

Análisis de los desastres registrados 1990-2022: a) Número de personas afectadas promedio, b) Pérdida económica promedio (en dólar estadounidense), c) Número de pérdidas humanas promedio

Fuente: -EM-DAT, CRED/UCLouvain, Brussels, Belgium - <https://www.emdat.be/>

A partir del año 2015 en México, la Subdirección de Riesgos por Inundación (SRI), perteneciente a la Dirección de Investigación del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), realiza el registro de episodios de inundaciones con graves consecuencias sobre la población. Las entidades federativas con mayores eventos de inundación, de acuerdo con el último reporte del año 2021 (CENAPRED, 2022), fueron Ciudad de México (202), Veracruz (163), Estado de México (118), Jalisco (106), y Querétaro (58).

En la ciudad de San Luis Potosí, diversos autores han investigado acerca de la historia de las inundaciones. Alfaro-Saldaña (2016: 110) menciona que antes de que se asentaran los primeros pobladores en el valle potosino no existía la vulnerabilidad ante inundaciones o la posibilidad de un desastre, y que al modificar el medio ambiente aumenta el riesgo y a su vez se modifica el mapa de riesgo en las áreas poblacionales. Así mismo, hace el recuento de las inundaciones que ocurrieron en los siglos XVI-XVII (1601-1606, 1651, 1672-1675, 1681, 1688-1689, 1696). De igual forma Hernández-Fuentes (2013) analiza los años 1856, 1878, 1887, 1888 y Castillo-Cardona (2019) hace referencia a los años 1850-1930, enfocándose principalmente al periodo 1930-1940.

Por su parte, Guevara-Macías (2012) realizó el análisis en diferentes épocas, primero en el año 1673, 1749 y el periodo 1887-1966, donde menciona que las afecciones están relacionadas con el flujo de agua traído por el río Santiago, posteriormente describe inundaciones ocurridas en el periodo 1967-1999 y las relaciona al crecimiento de la ciudad donde las mayores afectaciones fueron en las vialidades, finalmente habla del periodo 2000-2009 haciendo énfasis en el año 2008 donde se registraron la mayor cantidad de eventos y las afecciones se relacionan en algunas zonas a la falta de drenaje pluvial y en otras a la mala operación del mismo. En los años 2011 y 2012 se experimentó un periodo de severa sequía en la ciudad de San Luis Potosí (Alfaro-Saldaña, 2016), por último, se encontró la descripción de eventos particulares del 2 de noviembre de 2013 y el 8 de junio de 2016 (Ruiz-García, 2017).

En general, el actual estilo de vida urbana aún no es capaz de cumplir con los objetivos mínimos en materia de sustentabilidad (Trapote-Jaume y Fernández-Rodríguez, 2016). El crecimiento acelerado de las ciudades exige una gestión sostenible de los recursos (Obeso-Muñoz, 2019); sin embargo, a pesar de que se tiene un mayor conocimiento de las formas en que se degrada el medio ambiente, aún estamos muy lejos de lograr una gestión sustentable de las ciudades.

Durante las últimas décadas, muchos países comenzaron a implementar SUDS para dar solución a la gestión de aguas pluviales de una manera más sostenible, estos reducen el volumen de escorrentía mediante la implementación de características tales como evapotranspiración, infiltración y detención del recurso hídrico, para lograr un ciclo del agua más natural. Los SUDS imitan la configuración del drenaje de los paisajes naturales mediante diversas tipologías, por ejemplo: cunetas verdes, franjas filtrantes, drenes filtrantes, cuencas de detención, estanques y humedales, techos verdes, pavimentos permeables, parques inundables, captación de agua de lluvia, entre otros.

Por lo tanto, es importante comprender las causas y consecuencias de las inundaciones urbanas (Dong et al., 2021), con este fin, basándonos en eventos pasados, nuestro objetivo es aprender para el futuro. La investigación de inundaciones requiere una documentación completa de eventos pasados, sin embargo, debido a las limitaciones de los datos, se puede realizar con la ayuda de medios de comunicación, fotos y declaraciones de testigos y de esta manera, conocer la intensidad y los impactos de las inundaciones.

Este documento analiza las inundaciones ocurridas en la zona urbana de San Luis Potosí en el periodo 2014-2021, da a conocer zonas propensas a inundaciones y las diferentes afectaciones, además se describen las medidas que se han tomado para el manejo del agua pluvial; al final se describen soluciones sostenibles que podrían aplicarse y las respectivas leyes para facilitar su implementación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

La estructura urbana de la ciudad de San Luis Potosí es de forma concéntrica con un funcionamiento radial delimitada por el anillo periférico que ya ha sido rebasado al oriente y norte (H. Ayuntamiento de San Luis Potosí S.L.P. e Instituto Municipal de Planeación, 2021: 216). Según Alva-Fuentes y Martínez-Torres (2018: 72), el área metropolitana de San Luis Potosí (AMSLP) está compuesta por seis municipios: San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez, Mexquitic de Carmona, Villa de Reyes, Cerro de San Pedro y Zaragoza, e integrada en un polígono central que incluye dos ayuntamientos y espacios fragmentados.

La topografía del lugar es abrupta al poniente y lomeríos con pendientes suaves en la zona urbana hacia Soledad de Graciano Sánchez como se puede observar en la figura 3. Para el 2010 la población total en la zona estudio era de 994 729 habitantes y para el 2020 aumentó a 1 019 785 según datos del INEGI del Censo de Población y Vivienda 2010 y 2020 respectivamente INEGI (2020b). Como se observa en la figura 4 las zonas de crecimiento poblacional fueron en la delegación de Villa de Pozos, en la zona noreste y suroeste de la ciudad, mientras que en la zona centro existe un decremento.

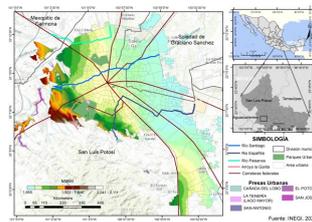


FIGURA 3.
Mapa de localización

Fuente: Elaboración propia, con datos del INEGI (2020a).



FIGURA 4.

Población de la zona de estudio: a) año 2010, b) año 2020

Fuente: Elaboración propia, con datos del INEGI (2020a) y Censo de Población y Vivienda 2010 y 2020 (INEGI, 2020b).

La zona conurbada de San Luis Potosí se ubica hidrográficamente (figura 5) dentro de la Región Hidrológica Núm. 37, denominada El Salado, esta se caracteriza por un conjunto de cuencas endorreicas en la Región Centro Norte de México (Amuzurrutia-Valenzuela, Aguirre-Salado y Sánchez-Díaz, 2015). A su vez se encuentra en el centro de la cuenca hidrológica del mismo nombre (Contreras-Servín y Galindo-Mendoza, 2008).

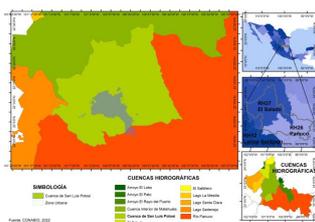


FIGURA 5.
Ubicación hidrográfica

Fuente: Elaboración propia, con datos de la CONABIO (2022).

En la cuenca de San Luis Potosí se identifican dos acuíferos uno somero y otro profundo, cabe señalar que la vegetación y las condiciones del suelo juegan un papel primordial en la recarga del acuífero (Contreras-Servín y Galindo-Mendoza, 2008). Dentro de la zona urbana se encuentran tres corrientes superficiales intermitentes, los ríos Santiago, Paisanos y Española.

Metodología

Para respaldar todo el proceso, desde la recopilación de información hasta el análisis de los datos, se propuso un enfoque estructurado paso a paso con base en la metodología propuesta por Kaiser, Günnemann y Disse (2020), la cual se basa en cuatro pasos: 1) objetivo, 2) recopilar y comprender los datos, 3) preparar los datos recopilados y crear el conjunto de datos, y finalmente 4) validar los datos.

En primer lugar, se hace un recuento del drenaje pluvial y de las políticas para el manejo del agua pluvial en San Luis Potosí, mediante una recopilación bibliográfica de planes, programas, informes de gobierno, tesis y libros.

En México, como en la mayoría de los países, la documentación de las inundaciones aún no está regulada y la información de eventos requerida se encuentra dispersa entre una variedad de fuentes, por esto para cumplir con el segundo paso, la búsqueda de información se realizó en dos etapas, en la primera fase se realizó una revisión hemerográfica en los principales periódicos de la ciudad. Para la segunda etapa la información encontrada se corroboró mediante documentos oficiales emitidos por el ayuntamiento, oficinas administrativas del estado, y se realiza la validación de los datos de precipitación presentados, con la estación meteorológica Observatorio Meteorológico Tangamanga II (CONAGUA, 2022).

En el tercer paso definimos cada evento de inundación encontrado de manera única, en función a las siguientes características: fecha, ubicación, fuente, cantidad de precipitación y duración de la precipitación. El conjunto de datos que se obtuvo brinda información básica sobre la ubicación del evento, el posible alcance de los daños, así como una descripción breve del evento.

En el cuarto paso se valida el conjunto de datos de inundaciones creado, mediante la elaboración de mapas de geolocalización de colonias y calles afectadas creados en el software ArcMap (versión 10.2), los mapas se conforman con modelos digitales de terreno obtenidos del portal Inventario Nacional de Viviendas 2020 (INEGI, 2020a). Un resumen del enfoque metodológico general de este estudio se muestra en la figura 6.

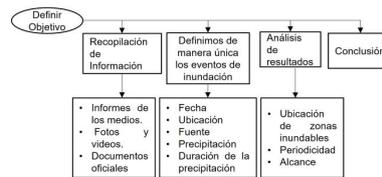


FIGURA 6.
Metodología propuesta

Fuente: Elaboración propia con base en la metodología propuesta.

RESULTADOS

El drenaje pluvial en San Luis Potosí

Desde sus inicios la ciudad ha sufrido inundaciones recurrentes que en algunos casos reblandecían las bardas y paredes de adobe de las casas (Lagos-Preisser y Escobar-Ohmstede, 1996), y a medida que crecía la población estas causaban más daños, en particular, el día 23 de agosto de 1673 donde hubo desde daños a inmuebles hasta pérdida de vidas humanas (Guevara-Macías, 2012), por lo que en 1688 el gobierno local como medida para contener los escurrimientos en la temporada de lluvias realizó el proyecto denominado “La Corriente”, su objetivo era encauzar el agua pluvial que de sur a norte abatía a San Luis en la temporada de lluvias, quedando obsoleta varios años después con el crecimiento de la población, para convertirse a la que hoy conocemos como Avenida Reforma (Castillo-Cardona, 2019). Otra de las grandes obras hidráulicas fue el acueducto la Cañada del Lobo que concluyó en 1831, este además de dotar de agua a la ciudad ayudaba a contener los escurrimientos que llegaban a la ciudad provenientes de la Cañada del Lobo ubicado en la Sierra de San Miguelito (López-Cruz, 2013), posteriormente en 1987 este declive inició sus operaciones como presa.

En 1828 se consideró por primera vez la construcción de la presa “La Constancia”, para suministrar de agua a la ciudad de San Luis Potosí, además, evitaría los torrentes sobre la población, pero tuvieron que pasar otros tantos años para que en 1863 se colocara la primera piedra y aun así quedar inconclusa dando paso a la presa San José que en 1903 se llenaría por primera vez (Torre, 2008), la primera quedó como una represa con un simple bordo que posteriormente ocasionó la gran inundación de 1933. La presa San José es para uso público urbano, mientras que las presas Cañada del Lobo, San Antonio (construida en el año 1875 y rehabilitada en el 2020), La Tenería (construida en el año 1890) y San Carlos (construida en el año 1892) son para control de lluvias, las presas de San Antonio y San Carlos evitan los escurrimientos a la actual zona industrial, mientras que la presa La Tenería comúnmente llamada Lago mayor o Lago de los patos se encuentra dentro del parque Tangamanga I y contiene los escurrimientos del arroyo La garita, que se localiza en la zona suroeste de la capital potosina.

Para el siglo XX, el crecimiento de la población demandaba un mayor número de infraestructura para el manejo del agua pluvial, a principios de siglo en el año de 1914, “La Corriente” que para entonces ya era obsoleta, cambió su nombre a Avenida Reforma debido a que se adoquinó y para el mandato de Saturnino Cedillo (1927-1933) comenzarían con obras de alcantarillado pluvial en este sitio, así como en otros sectores de la ciudad (López-Cruz, 2013); más tarde en la administración de Gonzalo N. Santos (1943-1949) se construyeron tres colectores de agua contabilizando 5057 metros, dos más en la zona centro y una zanja que protegería la zona sur de la ciudad, donde la inclinación del terreno hacia propicias las inundaciones, esta zanja midió 3500 metros lineales. En 1949, se construyó la presa de El Peaje (Camacho-Zapata, 2018) y en 1984 se comenzó la pavimentación del Río Santiago, que ha continuado hasta la actualidad; en este contexto López-Mares et al. (2019) mencionan que este río “es uno de los cauces urbanos que ha sufrido más

intervenciones: aguas arriba sus escurrimientos son captados por un sistema de presas que deseca su cauce” (p. 55). Posteriormente la zona media, con el fin de evitar el vertido de contaminantes industriales al agua pluvial, se convirtió en vía rápida. En los últimos años las nuevas construcciones en el Río Santiago se orientan al aprovechamiento del agua pluvial como por ejemplo la construcción de un canal subterráneo cuya función es evitar las nuevas formas de contaminación, además, del aprovechamiento del agua para riego y la recarga de los mantos freáticos.

Avanzando en el periodo de 1985 a 1988 se construyó la presa “El Potosino” para uso público urbano (Guevara-Gasca, 2007) y para el control de avenidas dentro de la mancha urbana, al igual que la presa más reciente “La Cantera” construida en el año 2019, específicamente para uso de los pobladores de la comunidad La Cantera y de los usuarios y empresas de la zona industrial.

En relación con el servicio de agua potable en el municipio de San Luis Potosí, el primer organismo descentralizado con autonomía financiera, administrativa y técnica fue la entidad de Sistema de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento (SIAPAS) fundada en 1992, en relación con el drenaje pluvial, bajo este organismo se tiene la construcción de los colectores pluviales Reforma y Río Españita, este último convertido en parque lineal (Guevara-Gasca, 2007; López-Cruz, 2013). Posteriormente, en 1996 se establece el organismo descentralizado para la prestación del servicio público de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (INTERAPAS), en el que se incluyen los municipios de Soledad y Cerro de San Pedro que en la actualidad es el encargado.

Entre los objetivos a largo plazo del INTERAPAS, relacionados con inundaciones o altas precipitaciones, destacan elaborar acciones que mitiguen “los efectos de los fenómenos hidrometeorológicos que se presentan en forma recurrente en el Valle de San Luis Potosí” (INTERAPAS, 2021).

Este organismo cuenta con un inventario del drenaje pluvial existente en la ciudad de San Luis Potosí y a continuación se describe:

Se conoce que la red de alcantarillado del municipio es del tipo combinado, esto significa que fueron construidos tanto para desalojar aguas residuales, como agua pluvial (CONAGUA, 2019), el diseño de esta red se calculó hace aproximadamente 50 años, trabajando fundamentalmente a gravedad (INTERAPAS, 2011), cabe resaltar que a esta red principal debido al crecimiento de la población se han estado conectado nuevos usuarios.

Las aguas de lluvia se desalojan principalmente en los cauces de los ríos Santiago, Españita y Paisanos y en los arroyos de las Vírgenes y La Garita, para el 2013 la infraestructura hidráulica pluvial consistía en 24 colectores pluviales (54 kilómetros), 5 cárcamos de bombeo pluvial y 18 colectores pluviales en proyecto (INTERAPAS, 2013). En la figura 7 se detalla la ubicación del servicio de alcantarillado pluvial de la zona metropolitana de San Luis Potosí a ese año.

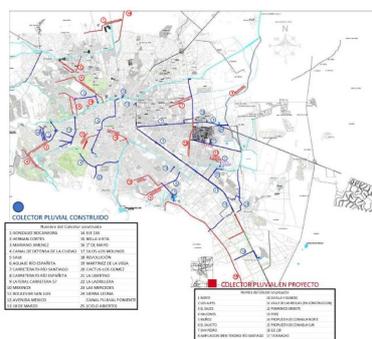


FIGURA 7.
Colectores de la Zona Metropolitana de San Luis Potosí al 2013
Fuente: INTERAPAS (2013).

Para el año 2015 había aumentado el número a 26 colectores pluviales, 5 en proyecto ejecutivo y se especificaba la necesidad de construir otros, como por ejemplo la continuación de los colectores Andalucía y Salk, los colectores Saucito-Río Santiago, puente PEMEX, algunos en la zona industrial y en la colonia Las Terceras (INTERAPAS, 2019).

Finalmente, entre las obras hidráulicas que se han realizado para evitar inundaciones en el periodo de estudio podemos mencionar, el dren central en el Río Santiago (2017-2020), colector pluvial en la lateral de la avenida Salvador Nava Martínez frente al parque Tangamanga I (2021), colector Pluvial Saucito y la ampliación del Puente PEMEX (2021). Estas obras ayudarán a evitar los inconvenientes causados por las lluvias, que a la vez han sido las calles que cada año se mencionan con afecciones.

Políticas actuales para el manejo de agua pluvial en la zona de estudio

En San Luis Potosí el manejo del agua pluvial se realiza mediante la colaboración de los tres niveles de gobierno dado que la Ley Estatal de Aguas no define responsabilidad y/o facultad de alguna autoridad para el manejo del agua de lluvia (INTERAPAS, 2013).

El INTERAPAS ha implementado planes y estrategias para evitar inundaciones en la zona urbana, en el 2013 publicó el “Plan para el Manejo, Control y Aprovechamiento del Agua de Lluvia en el Valle de San Luis Potosí”, este contenía proyectos ejecutivos para el aprovechamiento del agua de lluvia cuyo principal objetivo sería reducir la explotación del acuífero y además evitar inundaciones. Respecto a infraestructura, incluía colectores pluviales, rehabilitación y construcción de presas de almacenamiento y cárcamos de bombeo; algunas de estas obras mencionadas se han estado construyendo desde la publicación del plan hasta la actualidad. De la infraestructura que se enlista las que podríamos mencionar como medidas sustentables son los colectores combinados que desembocan a los lagos de los parques Tangamanga y los excedentes son dirigidos al Río Santiago debido a la infiltración que pudiera generarse actuando lo más cerca del origen.

Para el 2019 el mismo INTERAPAS publicó el “Plan estratégico de desarrollo 2018-2021”, en este se menciona la realización de diversos estudios relacionados con el agua de lluvia, por ejemplo, el análisis hidrológico en el que se determina el efecto del agua de lluvia en los colectores de la ciudad, estudio para diagnosticar áreas de recarga del acuífero, el estudio para el control de avenidas mediante bancos de materiales, análisis de la huella hídrica y la obtención del volumen de agua de lluvia que cae en la zona metropolitana, el estudio para el manejo del agua pluvial en las zonas: cañada del lobo, río Españita y el dren Tenorio-río Santiago, y finalmente, la realización del proyecto ejecutivo del canal piloto del río Santiago, así como su construcción, asimismo la realización de obras hidráulicas como lo son la construcción de tanque de regulación pluvial e interconexión a colectores existentes en la colonia San Antonio y algunos otros colectores pluviales (INTERAPAS, 2019).

Por otro lado, en el actual Programa Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de San Luis Potosí, publicado el día 27 de abril de 2021, incluye programas y proyectos estratégicos para implementarse a corto, mediano y largo plazo entre los que se mencionan acciones para aprovechar de manera sustentable el suelo ejidal y la edificación de vivienda urbana sustentable (por ejemplo, la captación de agua de lluvia). En cuanto a medidas para los desarrollos urbanos que se ubiquen en zonas de transición entre áreas urbanas y naturales menciona que se deberá construir la totalidad de la infraestructura necesaria para captar, distribuir y aprovechar el agua de lluvia, integrando los SUDS en las construcciones. Respecto a las normas de urbanización, se añadió el Coeficiente de Absorción del Suelo (CAS) como el factor (0.1), que al multiplicarse por el área total de un lote, determina la superficie que debe dejarse libre de cualquier construcción como techos, pavimentos impermeables, sótanos, y/o cocheras y que tampoco podrá ser cubierta por ningún material impermeable o elemento que evite la infiltración del agua al suelo (H. Ayuntamiento de San Luis Potosí S.L.P. e Instituto Municipal de Planeación, 2021). Finalmente, el “Programa Sectorial Recuperación Hídrica con Enfoque de Cuencas 2022-2027” menciona la necesidad de gestionar e impulsar la captación de

agua pluvial de cuencas y acuíferos naturales para la dotación de agua a la población y sectores productivos, evitando la sobreexplotación.

Recientes inundaciones en la zona urbana de San Luis Potosí: 2014-2021

Las precipitaciones presentadas en los reportes encontrados se validan con la estación meteorológica Observatorio Meteorológico Tangamanga II. La precipitación media anual en la zona urbana de San Luis Potosí es de 379.41 mm (entre 1989 y 2020) y como se observa en la figura 8 el mayor porcentaje de precipitación se presenta de mayo a septiembre.

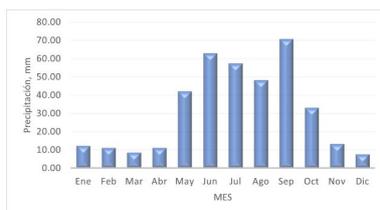


FIGURA 8.
Precipitación media mensual anual
Fuente: CONAGUA (2022).

Se localizaron 51 eventos de inundación que provocaron algún tipo de daño (entre 2 a 10 eventos anuales), en estos se describen afecciones tales como caída de muros, vehículos varados, accidentes por piso mojado, árboles caídos, fallas en el suministro de energía eléctrica, bardas derrumbadas, espectaculares caídos, entre otros, y en ninguno de los eventos se reportaron pérdidas humanas. En la figura 9 se muestra la precipitación total anual y el número de días con una precipitación acumulada en 24 horas mayor a 10 mm; se tomó como referencia esta última, ya que al hacer una primera revisión se encontraron eventos donde se observaron daños, por ejemplo, el día 10 de octubre de 2017 con una precipitación de apenas 11.5 mm se tuvieron encharcamientos en diversas colonias y el cierre de vialidades. Finalmente se muestra el número de eventos registrados.

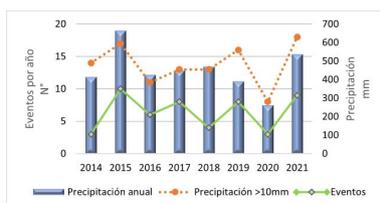


FIGURA 9.
Eventos típicos de desastres por inundaciones (2014-2021)
Fuente: elaboración propia con datos de CONAGUA (2022) y la base de datos construida.

En relación con los sitios afectados se encontraron 44 colonias que tuvieron algún tipo de daño a lo largo de los 8 años de estudio, en la figura 10 se muestra la geolocalización de estas colonias, además del número de eventos de inundación, y en la figura 11 se enlistan las colonias con dos o más eventos.

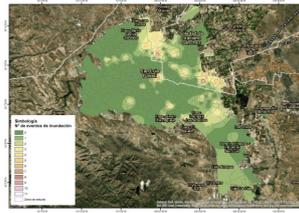


FIGURA 10.
Geolocalización de colonias afectadas por eventos de lluvia de 2014-2021
Fuente: Elaboración propia, con datos del INEGI (2020a).

		Pedroza, 5	San José, 5	Quintas de la Hacienda, 5	Genovevo Binas Guillén, 4
San Cactus, 13	San Luis, 7		Santo Tomás, 4	Las Mercedes, 3	Los Silos, 3
	El Aguayo, 5	Pavón, 4	San Francisco, 3	Salomón del Valle, 2	Barrio de San Miguelito, 2
San Lorenzo, 11	Hacienda de las Cruces, 5	Progreso, 4	Molinos del Rey, 3	El Palmar, 2	Prado de San Vicente, 2
Privada de las Haciendas, 8	Los Agaves, 5	Terrateni, 4	San Sebastián, 3	Industrial Aviación, 2	Tercera Chica, 2
				Jasandas, 2	Conjunto del Real, 2
				Tercera Grande, 2	La Constanza, 2

FIGURA 11.
Principales colonias afectadas y número de eventos
Fuente: Elaboración propia.

En los años analizados se encontró que en el 2015 hubo una precipitación anual de 665.5 mm, considerándose como un año atípico, ya que la precipitación media –como se había mencionado– era de 379.41 mm. En la figura 12a se observan los días con precipitaciones mayores a 10 mm, dando un total de 17 días; en la figura 12b tenemos los eventos de ese mismo año, que a la vez coinciden con los días de mayor precipitación.

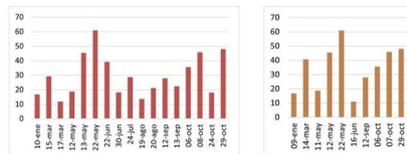


FIGURA 12.
Eventos de precipitación del año 2015: a) Precipitación mayor a 10 mm, b) Precipitaciones con eventos de inundación
Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2022) y la base de datos construida .

Cabe resaltar que el día 16 de junio, aunque no se observa en la figura 12a, las afecciones fueron ocasionadas por la precipitación conjunta de los días 16 y 17 que tuvieron precipitaciones menores a 10 mm, para este año también se presentaron dos periodos largos del cierre de la vialidad principal Río Santiago, el primero del 1-13 de julio y el segundo del 15 de septiembre-2 de octubre. Hubo diversos cierres de vialidades, por ejemplo, en Fray J. de Juárez hacia la Calle 8 en Industrial Aviación, B. Anaya, Avenida Salk, Universidad, y Abastos, tráfico pesado, caída de árboles.

Para el año 2016 se tuvo una precipitación anual de 425.4 mm, 11 días con precipitación mayor a 10 mm y 6 días con afectaciones figura 13.

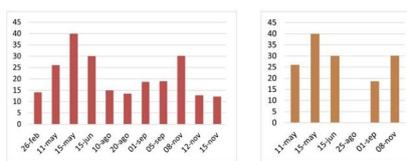


FIGURA 13.
Eventos de precipitación del año 2016: a) Días con precipitación mayor a 10 mm, b) Precipitaciones con eventos de inundaciones
Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2022) y la base de datos construida.

En la figura 13.b se observa que en el día 25 de agosto la estación meteorológica no contabilizó ninguna precipitación, esto es debido a que las lluvias fueron en la sierra de San Miguelito, donde hubo una precipitación acumulada en 24 horas de 51.6 mm, que cuenta un periodo de retorno de aproximadamente 3 años, las fuertes lluvias en pocos minutos inundaron pasos a desnivel y calles dejando varados a cientos de vehículos, incluso pusieron en riesgo la vida de varias personas en la lateral de Salvador Nava a la altura del parque Tangamanga I (González, 2016).

Para el 2017 se encontraron 8 eventos con mayores daños y de estos 2 con una precipitación mayor a 50 mm el día 24 de septiembre y el 11 de julio. En el 2018 se encontraron solo cuatro noticias, en el 2019 diez, para el 2020 bajaron a 3, pero la precipitación fue baja (261.71 mm), en el 2021 fue de 536.9, esto también contribuyó a mayores eventos dando un total de 9 en estos se mencionan diferentes vialidades y colonias afectadas, además, se reportó el incremento del nivel de agua en vialidades por el desborde del río Paisanos, en los reportes que se tienen es la primera vez que se menciona este río.

Finalmente, haciendo un análisis de las principales vialidades afectadas, en el periodo de análisis, podemos mencionar las siguientes: puente Naranja, río Santiago, puente Pemex, calle Ortosa (colonia Industrias), río España, desnivel de Manuel José Othón, avenida Juárez, Himno Nacional, desnivel a Plaza San Luis, Salvador Nava (altura del Parque Tangamanga II), avenida Universidad, glorieta de La Familia, y en menor medida glorieta González Bocanegra, lateral del Periférico Oriente y carretera a Matehuala, avenida San José del Barro, calle Santo Tomás, calle Villa de Cactus, calle San José, Carranza, avenida Valentín Amador, avenida Industrias, calle Juan del Jarro, entre otras. En la figura 14 se observa el número de veces que estas calles fueron afectadas.

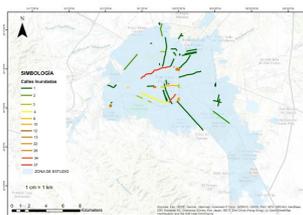


FIGURA 14.
Geolocalización de calles afectadas por eventos de lluvia de 2014-2021
Fuente: Elaboración propia, con datos del INEGI (2020a).

DISCUSIÓN

Cualquier esfuerzo por incluir la gestión sostenible de las aguas pluviales en la planificación urbana debe ser el resultado de una visión compartida, además de aplicar un principio de responsabilidad con soluciones flexibles (Pappalardo y La Rosa, 2020). En el valle de San Luis Potosí existe una precipitación menor a 400 mm y de esta el 97.6 % se evapotranspira (Carranco-Lozada et al., 2016), lo que no significaría una amenaza, sin embargo, la intensidad y duración de la lluvia, la topografía y el crecimiento urbano, crean afectaciones

cada vez más recurrentes. La autoridad local es la encargada de la gestión de la escorrentía pluvial para el control de inundaciones y a medida que las ciudades en desarrollo persiguen los objetivos de desarrollo sostenible, también se incluyen estos.

En esta investigación se muestra cómo se ha visto afectada por las lluvias la ciudad de San Luis Potosí, en el periodo 2014-2021. Se encontraron afecciones con precipitaciones desde 11.4 mm, además de las formas en las que se han resuelto las que más daños tienen, por ejemplo, en el río Santiago se encontró que el 76 % de las veces ha sufrido cierres, accidentes o encharcamientos, incluso hubo periodos largos de cierre total (01/07/2015 -13/07/2015 y 15/09/2015 - 2/10/2015), debido a esto se realizó la construcción de un dren para conducir la corriente de agua a la zona baja que se ubica en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez, finalizando en el año 2020, en consecuencia se observaron un menor número de cierre de esta vialidad incluso con precipitaciones de 20 mm, y a pesar de que su objetivo es la captación de agua para riego, aumentaron las afectaciones en la zona de depósito de esta agua, cabe destacar que el 2021 es su primer año de registro.

Otras vialidades comúnmente afectadas fueron Salvador Nava a la altura de una plaza comercial, donde se construyó un colector pluvial; el puente PEMEX (cárcamos de bombeo), el puente Manuel José Othón y el puente Naranja (proyectos ejecutivos), entre otras. Estas obras nos muestran que es necesario actuar desde el origen y de una forma más sustentable ya que las escorrentías vienen de zonas aguas arriba y terminan afectando en mayor medida aguas abajo.

Por su parte, Onchi-Ramos (2021) realizó un estudio para la detección de zonas de desbordamiento en el arroyo Garita, en él realiza recomendaciones para la prevención y solución a las inundaciones en esta zona mediante SUDS. Talledos-Sánchez y Velázquez-Zapata (2022) se centran en la zona del Aguaje donde mencionan que la forma en la que combaten las inundaciones es mediante la participación ciudadana modificando sus calles y casas además de la limpieza. Cruz-Pérez (2012) investigó de forma más detallada las causas y consecuencias de las inundaciones en la zona norte de la ciudad centrándose en las colonias Cactus, Pedroza, Guanos y Terceras.

Como se ha mencionado anteriormente, existe una variedad de estudios relacionadas con la ubicación de zonas vulnerables a inundación en la ciudad de San Luis Potosí durante una variedad de tiempos con esta información se evidencia la necesidad de realizar acciones para proteger a la población, así mismo, estudios de análisis de riesgo para conocer las causas de las inundaciones, ya que podrían ser asociadas a periodos extraordinarios de lluvia o bien a las deficientes obras hidráulicas que debido al incremento de la población se están colapsando.

Es importante comprender las causas y consecuencias de las inundaciones, de esta manera proponer medidas sustentables que se puedan incluir en la gestión del agua de lluvia, como por ejemplo, herramientas ante el aumento de superficies impermeables, minimización de efectos causados al sitio debido a la urbanización, SUDS como medida obligatoria, y también destacar la importancia de las zonas verdes como medida de adaptación urbana, entre otros.

Se incluyó una revisión de las políticas y se encontró el establecimiento del factor CAS, este podría ser utilizado para la implementación de SUDS dentro de los hogares y dar a conocer sus beneficios que, aunque no es suficiente, son los pasos iniciales para informar a la población de las formas en que se puede contribuir en la mitigación de inundaciones. Es claro que los programas sostenibles para el manejo del agua pluvial en áreas urbanas necesitan una fuente de incentivos que motiven la utilización de los mismos, por ejemplo, la reducción de trámites para el proceso de solicitud de permisos de desarrollo o bien la implementación de tarifas o programas de descuentos para persona que realicen acciones para reducir los impactos del agua de lluvia en una propiedad o en una comunidad, mediante la utilización eficiente del coeficiente de absorción del suelo dentro de las viviendas o bien, la utilización de parques y jardines como drenaje pluvial.

Además de incentivos, son necesarias las normas de gestión, estándares de adopción de sistemas de drenaje sostenibles y la divulgación a la población de las prácticas que se pretenden o puedan realizar, promoviendo la participación de todos los involucrados.

Medidas de mitigación de inundaciones urbanas

La aprobación en 1972 en Estados Unidos de la ley Clean Water Act (CWA) marca el punto de partida de un nuevo enfoque en el drenaje urbano, que consiste en gestionar las aguas de lluvia como una oportunidad para la generación de ciudades más sostenibles y no como un problema (Soriano et al., s/f). En 1997, Butler y Parkinson (1997) mencionaban que el drenaje urbano sostenible debe mantener una buena barrera de salud pública, evitar la contaminación del medio ambiente local o distante, minimizar la utilización de los recursos naturales, ser operable a largo plazo y adaptable a los requisitos futuros.

Los SUDS aportan una solución para la gestión de las escorrentías urbanas desde un enfoque más amable con la naturaleza, actuando desde el origen y de una manera racional y más sostenible (Perales-Momparler et al., 2019). Mediante la implementación de características tales como evapotranspiración, infiltración y detención del recurso para lograr un ciclo del agua más natural (Johnson y Geisendorf, 2019).

El diseño de los SUDS se centra en maximizar las oportunidades y beneficios que se pueden obtener del agua de lluvia mediante cuatro pilares principales: cantidad, calidad, servicios y biodiversidad (Woods-Ballard et al., 2015). Sin embargo, debido a la asombrosa cantidad de combinaciones potenciales de tipologías y configuraciones espaciales que se pueden usar, identificar una estrategia que seleccione y asigne estos sistemas de manera óptima es un esfuerzo complejo (Torres et al., 2020).

Numerosos estudios han evaluado la implementación de SUDS alrededor mundo, y a pesar de sus múltiples beneficios, estos son difíciles de poner en práctica, debido a los factores a tomar en cuenta al momento de diseñar, calcular y ejecutar. Por ejemplo, es necesario considerar las condiciones climatológicas, características del lugar (topografía, hidrogeología, geotecnia, hidrología, vegetación, hábitat, entre otros), ámbito de aplicación, objetivos de diseño, técnicas SUDS, mantenimiento futuro, políticas locales, entre otros.

La implementación a nivel local en áreas urbanas se ha evaluado mediante diversas metodología entre las que se tiene la evaluación desde la perspectiva de optimización de costos (Nápoles-Rivera et al., 2013; Ossa-Moreno, Smith y Mijic, 2017; Singh, Sarma, y Hack, 2020), balance volumétrico del agua (consiste en concebir las aguas pluviales como un recurso y busca su optimización a través del diseño de SUDS) (Zubelzu et al., 2019), mitigación de inundaciones y control de escorrentías, desarrollo urbano sostenible, conservación de los servicios ecosistémicos, adaptación al cambio climático, análisis multicriterio, infraestructura paisajística, áreas protegidas, etcétera.

En San Luis Potosí, a partir del año 2000, se ha comenzado con la investigación del aprovechamiento del agua de lluvia, se realizaron evaluaciones del aprovechamiento dentro de la zona universitaria de la UASLP (Picos-Benítez, 2010; Segura-Castro, 2012) y en escuelas públicas de La Pila (Mares-Jasso, 2021), además se analizó el uso de infraestructura verde en ríos urbanos, como en el río Santiago (Hernández-Vera, 2017). Para el 2021, se comienza a introducir el término SUDS mediante el análisis de factibilidad de implementación de SUDS a nivel ciudad (Zubelzu et al., 2020), en la delegación Villa de Pozos (Ponce de León-García, 2022), y actualmente dentro de la UASLP se tienen tesis en proyecto que realizan estudios para evaluar el desempeño del drenaje gris existente añadiendo SUDS y la elaboración de propuestas de solución, para que en épocas de lluvia se controle el excedente de agua proveniente de la Presa de San José, utilizando sistemas de drenaje sostenible.

Es fundamental considerar la gestión de aguas pluviales con SUDS desde las etapas iniciales de la actuación, para reproducir los patrones de drenaje natural y dedicarle el espacio que requiera la gestión del agua de lluvia.

CONCLUSIONES

En este estudio se analizó la ocurrencia de inundaciones en el periodo de tiempo 2014-2021 en San Luis Potosí. Se ubicaron zonas prioritarias de atención y además los efectos que las lluvias ocasionaron año con año. Revisamos la reglamentación existente para el manejo sostenible del agua pluvial y se encontró que el tema se empieza a abordar en el nuevo plan de desarrollo urbano. Asimismo, se ha comenzado a investigar sobre las formas en que se podría aprovechar el agua de lluvia y en años más reciente en la aplicación de SUDS. Esta investigación da la pauta para que, al conocer las consecuencias del manejo actual del agua pluvial, se realicen estudios integrales que apoyen la implementación de sistemas sostenibles, donde se incluya la colaboración de las instituciones, los pobladores y los gobernantes.

REFERENCIAS

- Alfaro-Saldaña, J. (2016). *Un paraje entre vetas y veneros Agua, ecultura y devoción en la ciudad de San Luis Potosí en el siglo XVII* (tesis doctoral). El Colegio de San Luis, AC, San Luis Potosí, México. Recuperado de <http://colsan.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1013/231>
- Alva-Fuentes, B. y Martínez-Torres, Y. (2018). Crecimiento urbano y su impacto en el paisaje natural. El caso del Área Metropolitana de San Luis Potosí, México. *Realidad, datos y espacio revista internacional de estadística y geografía*, 9(2), 66. Recuperado de <https://rde.INEGI.org.mx/index.php/2018/11/07/crecimiento-urbano-impacto-en-paisaje-natural-caso-del-area-metropolitana-san-luis-potosi-mexico/>
- Amuzurrutia-Valenzuela, D., Aguirre-Salado, C. y Sánchez-Díaz, G. (2015). ¿Hacia dónde crecerá la ciudad de San Luis Potosí (México) después de 2009? *EURE (Santiago)*, 41(124), 113–137. <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612015000400006>
- Butler, D. y Parkinson, J. (1997). Towards sustainable urban drainage. *Water Science and Technology*, 35(9), 53–63. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00184-4](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00184-4)
- Camacho-Zapata, Y. E. (2018). *La construcción del régimen político potosino contemporáneo: Gonzalo N. Santos o el esquema político postrevolucionario en San Luis Potosí, 1943-1949* (tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma De México, México. Recuperado de https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000780989
- Carranco-Lozada, S., Ramos-Leal, A., Almanza-Tovar, O. Morán-Ramírez, J. (2016). Balance hidrológico superficial del valle de San Luis Potosí. En: G. Santacruz-de León, A. Ramos-Leal (coord.). *Condiciones hidrogeoquímicas y explotación del sistema acuífero del Valle de San Luis Potosí*. (pp. 23-44). San Luis Potosí, México: El Colegio de San Luis.
- Castillo-Cardona, C. E. (2019). *Historia ambiental de las inundaciones en San Luis Potosí: 1930-1940* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma De San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. Recuperado de <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/5731>
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). (2022). *The international disasters database* (en línea). Recuperado de <http://www.emdat.be>, [consultado el 3 de noviembre de 2022].
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2022). *Catálogo de inundaciones 2021*. Recuperado de https://www1.cenapred.unam.mx/DIR_INVESTIGACION/2022/XLI/RI/220221_RIAct23_Catalogoinundaciones2021.pdf
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Drenaje Pluvial Urbano*. México. Recuperado de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2022). Registro de precipitación diaria de Observatorio Meteorológico de San Luis Potosí. [Dataset]. [consultado el 27 de octubre de 2022].

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2022). Cuencas hidrológicas (IG), Regiones Hidrológicas, escala 1:250000. República Mexicana. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Contreras-Servín, C. y Galindo-Mendoza, M. G. (2008). Abasto futuro de agua potable, análisis espacial y vulnerabilidad de la ciudad de San Luis Potosí, México. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, (17),127-137. ISSN: 0121-215X. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281821942009>
- Cruz-Pérez, L. A. (2012). *Áreas susceptibles de inundación y vulnerabilidad socioeconómica asociada en la zona metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P., México.
- Dong, B., Xia, J., Zhou, M., Deng, S., Ahmadian, R. y Falconer, R. A. (2021). Experimental and numerical model studies on flash flood inundation processes over a typical urban street. *Advances in Water Resources*, 147(2021), 103824. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2020.103824>
- González, M. (26 de agosto de 2016). SLP bajo el agua. *Plano Informativo*. Recuperado de <https://planoinformativo.com/477206/slp-bajo-el-agua/>
- Guevara-Gasca, V. A. (2007). *Distribución espacial y abastecimiento del agua para uso humano, en el área metropolitana de la ciudad de San Luis Potosí: problemática, implicaciones y alternativas* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P., México Recuperado de <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/1796>
- Guevara-Macías, M. D. J. (2012). *Análisis De La Vulnerabilidad Socioeconómica Por Inundaciones En La Ciudad De San Luis Potosí* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P, México. Recuperado de <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/4168>
- H. Ayuntamiento de San Luis Potosí, S.L.P. e Instituto Municipal de Planeación Instituto Municipal de Planeación. (2021). *Programa Municipal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano de San Luis Potosí, S.L.P.* Recuperado de <https://sanluisimplan.gob.mx/download/14619/>
- Hernández-Fuentes, Y. (2013). *Usos del agua en la ciudad de San Luis Potosí 1831-1887* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P., México. Recuperado de <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/5738>
- Hernández-Vera, R. (2017). *Rehabilitación de Ríos urbanos a través de la Infraestructura Verde. Caso de estudio Río Santiago, San Luis Potosí, S. L. P.* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P., México. Recuperado de <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/6124>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020a). Conjunto de Datos Vectoriales de Información Topográfica F14A84, F14A83, Resolución 1:50000 San Luis Potosí escala 1:50 000. <https://www.INEGI.org.mx/app/mapa/espacioydatos/?app=inv>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020b). Censo de población y vivienda. [en línea]. <https://www.Inegi.org.mx>
- INTERAPAS. (2011). *Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral de INTERAPAS, del Sistema de Agua y Saneamiento en los Municipios de San Luis Potosí, Cerro de San Pedro y Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.* 37, 207–276.
- INTERAPAS. (2013). *Gestión del Agua en la zona metropolitana de San Luis Potosí, Cerro de San Pedro y Soledad de Graciano Sánchez*. Recuperado de <http://www.INTERAPAS.mx/index.php/component/content/article/10-INTERAPAS/59-agua-en-mexico-y-san-luis-potosi>
- INTERAPAS. (2019). *Plan estratégico de desarrollo 2018-2021*. Recuperado de https://INTERAPAS.mx/files/Plan_estrategico.pdf
- INTERAPAS. (2021). *Objetivos a largo plazo*. Recuperado de <https://INTERAPAS.mx/nosotros/121-2-2-2/>
- Johnson, D. y Geisendorf, S. (2019). Are Neighborhood-level SUDS Worth it? An Assessment of the Economic Value of Sustainable Urban Drainage System Scenarios Using Cost-Benefit Analyses. *Ecological Economics*, 158(2019), 194–205. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.12.024>

- Kaiser, M., Günemann, S. y Disse, M. (2020). Providing guidance on efficient flash flood documentation: an application-based approach. *Journal of Hydrology*, 581(2020), 124466. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124466>
- Lagos-Preisser, P. y Escobar-Ohmestede, A. (1996). La inundación de San Luis Potosí en 1887: Una respuesta organizada. En V. García-Acosta (coord.) *Historia y desastres en América Latina* (pp. 325-72). Santafé de Bogotá, Colombia.
- López-Cruz, E. (2013). *Relatos por debajo del agua*. Recuperado de https://INTERAPAS.mx/files/cultura_del_agua/por_debajo_agua/Recopilacion_por_debajo_del_agua.pdf
- López-Mares L. M., Lozano de Poo J. M., Torre- Silva F., Rodríguez-Santiago J. y López -Fraga J. A. (2019). El ciclo hidro-social de los ríos urbanos: Transformaciones al paisaje hídrico en San Luis Potosí, México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 53(1), 45-69. <https://doi.org/10.15359/rca.53-1.3>
- Mares-Jasso, M. A. (2021). *Propuesta para el manejo integral del agua en escuelas públicas. Caso: Escuela Francisco González Bocanegra, La Pila, S.L.P.* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de San Luis Potosí. S.L.P. México. Recuperado de <http://ciep.ing.uaslp.mx/agua/alumno.php?id=313835353639&tipo=Eg&grado=2013>
- Nápoles-Rivera, F., Serna-González, M., El-Halwagi, M. M., y Ponce-Ortega, J. M. (2013). Sustainable water management for macroscopic systems. *Journal of Cleaner Production*, 47(2013), 102–117. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.038>
- Obeso-Muñiz, I. (2019). Definir la urbanización periférica: conceptos y terminología. *Ería*, 39(2), 183-206. <https://doi.org/10.17811/er.2.2019.183-206>
- Onchi-Ramos K. (2021). *Modelación hidrodinámica para la detección de zonas de desbordamiento en el arroyo Garita, ciudad de San Luis Potosí, S. L. P.* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P., México. Recuperado de <http://ciep.ing.uaslp.mx/tesis/tesisPDF/6102021102873179382013.pdf>
- Ossa-Moreno, J., Smith, K. M., y Mijic, A. (2017). Economic analysis of wider benefits to facilitate SuDS uptake in London, UK. *Sustainable Cities and Society*, 28(2017), 411–419. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.10.002>
- Pappalardo, V. y La Rosa, D. (2020). Policies for sustainable drainage systems in urban contexts within performance-based planning approaches. *Sustainable Cities and Society*, 52(2019), 101830. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101830>
- Perales-Momparler, S., Calcerrada-Romero, E., Badenes-Catalán, C. y Beltrán-Pitarch, I. (2019). *Guía básica de diseño de sistemas urbanos de drenaje sostenible para el término municipal de castelló de la plana*.
- Picos-Benítez, A. R. (2010). *Estudio para la reducción del consumo de agua en la zona universitaria poniente de la UASLP mediante sustitución de muebles sanitarios, captación de agua de lluvia, camio de jardinería y reutilización de agua tratada* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de San Luis Potosí. S.L.P. México.
- Ponce de León- García C.E. (2022). *Evaluación del desempeño de sistemas de drenaje pluvial convencional incorporando sistemas urbanos de drenaje sostenible, en la zona metropolitana de San Luis Potosí.* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de San Luis Potosí. S.L.P., México.
- Qi, M., Huang, H., Liu, L. y Chen, X. (2020). Spatial heterogeneity of controlling factors' impact on urban pluvial flooding in Cincinnati, US. *Applied Geography*, 125(2020), 102362. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102362>
- Ruiz-García, S. (2017). *Modelación numérica de eventos convectivos y comparación con observaciones satelitales en la región central de México* (tesis de maestría). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. México. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11627/3129>
- Segura-Castro, J. A. (2012). *Propuesta de un sistema para la utilización de las escorrentías de la zona universitaria poniente de la UASLP.* (tesis de maestría). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P., México.
- Shah, S. M. H., Mustaffa, Z., Teo, F. Y., Imam, M. A. H., Yusof, K. W. y Al-Qadami, E. H. H. (2020). A review of the flood hazard and risk management in the South Asian Region, particularly Pakistan. *Scientific African*, 10(2020), e00651. DOI <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00651>

- Singh, A., Sarma, A. K., y Hack, J. (2020). Cost-Effective Optimization of Nature-Based Solutions for Reducing Urban Floods Considering Limited Space Availability. *Environmental processes*, 7(1), 297-319.
- Soriano, L., del Moral, L., Ángela, L., Julia, M. y Sánchez, L. (n.d.). *Memoria del proyecto de investigación: los sistemas de drenaje urbano sostenible: desarrollo actual y tendencias de futuro*.
- Talados-Sánchez E. y Velázquez-Zapata J.A. (2022). Prácticas locales ante inundaciones urbanas en la ciudad de San Luis Potosí. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 13(6), 352-407. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-13-06-08>
- Torre, L. (2008). La Constancia. Una presa para la ciudad de San Luis Potosí. Cuatro iniciativas del siglo XIX. *Boletín Del Archivo Histórico Del Agua*, 13(40), 38–51. Recuperado de <https://biblat.unam.mx/es/revista/boletin-del-archivo-historico-del-agua/articulo/la-constancia-una-presa-para-la-ciudad-de-san-luis-potosi-cuatro-iniciativas-del-siglo-xix>
- Torres, M. N., Fontecha, J. E., Zhu, Z., Walteros, J. L. y Rodríguez, J. P. (2020). A participatory approach based on stochastic optimization for the spatial allocation of Sustainable Urban Drainage Systems for rainwater harvesting. *Environmental Modelling & Software*, 123(2019), 104532. DOI <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104532>
- Towfiqul Islam, A. R. M., Talukdar, S., Mahato, S., Kundu, S., Eibek, K. U., Pham, Q. B., Kuriqi, A. y Linh, N. T. T. (2021). Flood susceptibility modelling using advanced ensemble machine learning models. *Geoscience Frontiers*, 12(3), 101075. DOI <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.09.006>
- Trapote-Jaume, A. y Fernández-Rodríguez, H. (2016). Memoria del proyecto: Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible. Recuperado de <https://agroambient.gva.es/documents/163005665/163975683/AGRICULTURA8-16I+memoria/1d8cb413-3eb3-4f5e-a247-e4466a59b21c>
- Wang, H., Huang, S., Fang, W., Hou, B., Leng, G., Huang, Q., Zhao, J. y Han, Z. (2020). Multivariable flood risk and its dynamics considering project reasonable service life in a changing environment. *Journal of Hydrology*, 590(2020), 125524. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125524>
- Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R. y Kellagher, R. (2015). *The SuDS Manual*. (Vol. 697). London, UK: Ciria.
- Zubelzu, S., Rodríguez Sinobas, L., Andrés Domenech, I., Castillo Rodríguez, J. T., y Perales Momparler, S. (2019). Design of water reuse storage facilities in Sustainable Urban Drainage Systems from a volumetric water balance perspective. *Science of the Total Environment*, 663, 133-143. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.342>
- Zubelzu, S., Rodríguez-Sinobas, L., Sordo-Ward, A., Pérez-Durán, A., y Cisneros-Almazán, R. (2020). Multi-Objective Approach for Determining Optimal Sustainable Urban Drainage Systems Combination at City Scale. The Case of San Luis Potosí (México). *Water*, 12(3), 835. MDPI AG. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.3390/w12030835>

ENLACE ALTERNATIVO

<https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/decumanus/article/view/5273> (html)