

DOI: 10.24850/j-tyca-2025-02-06

Artículos

**Análisis geoespacial de los sitios de afectación por inundación desde una base de datos recopilada por el cuerpo de bomberos de Guadalajara durante el temporal de lluvia del periodo 2010-2022**

**Geospatial analysis of flood impact sites from a database compiled by the Guadalajara fire department during the rainy season of the 2010-2022 period**

Maura González<sup>1</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7201-2831>

Boris Comi<sup>2</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7964-9500>

Jesús López De la Cruz<sup>3</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8230-6414>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C., Unidad CEIBAAS (Centro de Estudios e Investigación en Biocultura, Agroecología, Ambiente y Salud), Colima, México / Programa Investigadoras e Investigadores por México, Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, México / Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Civil, Colima, México, [maura.gonzalez@ciad.mx](mailto:maura.gonzalez@ciad.mx)

<sup>2</sup>Coordinación Municipal de Protección Civil de Guadalajara, Guadalajara, México, [bcomi@guadalajara.gob.mx](mailto:bcomi@guadalajara.gob.mx)

<sup>3</sup>Universidad de Colima, Facultad de Ingeniería Civil, Colima, México,  
jlopez71@ucol.mx

Autora para correspondencia: Maura González, maura.gonzalez@ciad.mx

## Resumen

Se analizan los sitios de afectación por inundación (SAI) atendidos por la Coordinación de Protección Civil de Guadalajara (CMPCG) desde un enfoque geoespacial; se da a conocer la distribución de cómo, cuándo y dónde han afectado las inundaciones durante los últimos 12 años (2010-2022). El caso de estudio es la zona urbana del municipio de Guadalajara; se analiza la frecuencia, distribución e intensidad de las inundaciones año por año, y del total del periodo de estudio. Se obtuvo un mapa de categorización del tirante de agua, considerando la altura de nivel de inundación histórica presentada por colonias, donde la mayoría presenta un rango que va de medio a bajo. Posteriormente, se analizaron los servicios atendidos por bases del área operativa de la CMPCG, donde los mayores sectores afectados son la vía pública y el sector casa habitación. Se trabajó con un total de 3 676 SAI contenidos en el inventario de inundaciones de la CMPCG. El estudio permite identificar 63 sitios recurrentes de inundación (SiRI) con la información de los SAI. A escala de colonias, se corresponden a 65 colonias recurrentes de inundación (CRI). Se exhiben, además, 20 sitios críticos de inundación (SiCI), que cumplieron con los criterios de recurrencia, también se considera el criterio de incidencia tanto en el campo de domicilio como en el de cruce. Finalmente, se destaca la labor que se realiza día con día en la

Coordinación Municipal de Protección Civil de Guadalajara (CMPCG) y específicamente del personal del Área Operativa, ya que este estudio se realizó a partir de la información recabada por dicho personal durante cada temporal de lluvias. Con el presente estudio se contribuye a la primera etapa de la gestión integral de riesgos al incluir el análisis e identificación de los sitios de inundación en el municipio de Guadalajara.

**Palabras clave:** inundación, recurrencia, peligro, protección civil, zona urbana.

## Abstract

This paper analyzed Flood Impact Sites (SAI, abbreviated in Spanish) attended by the Coordination of Civil Protection of Guadalajara (CMPCG, abbreviated in Spanish) from a geospatial approach. It also addressed the distribution of how, when, and where floods affected during the last 12 years (2010-2022). The case study is the urban area of the municipality of Guadalajara. The frequency, distribution and intensity of floods are analyzed yearly and for the entire study period. We obtained a flow depth categorization map using neighborhoods' historical flood level height, where most range from medium to low. Subsequently, the services attended by CMPCG's operational area bases were analyzed, where the most affected sectors are the public roads and the residential sector. We worked with 3,676 SAI contained in the CMPCG flood inventory. The study allows to identify 63 Recurrent Flood Sites (SiRI, abbreviated in Spanish) with the information of the SAI. At the colony scale, they correspond to 65 Recurrent Flood Neighborhoods (CRI, abbreviated in Spanish). In addition, 20 Critical Flood Sites (SiCI, abbreviated in Spanish) are

displayed, which, in addition to meeting the recurrence criteria, also consider the incidence criterion both in the domicile and crossing fields. We can highlight the daily work of the Municipal Coordination of Civil Protection of Guadalajara (CMPCG) and, specifically, the staff of the Operational Area since this study was carried out based on the information gathered by this staff during each rainy season. This study contributes to the first stage of Integrated Risk Management by analyzing and identifying flooding sites in Guadalajara.

**Keywords:** Flood, recurrence, hazard, civil protection, urban area.

Recibido: 31/07/2023

Aceptado: 02/01/2024

Publicado *online*: 17/01/2024

## Introducción

Existen dos fenómenos hidrometeorológicos extremos de amplio interés por el impacto que tienen en los ámbitos económico, ambiental y social: inundaciones y sequías. Estos fenómenos son la clara demostración de que, aunque el agua es el vital líquido para el desarrollo de nuestras actividades diarias y la permanencia de la humanidad en este planeta, cuando se presentan en exceso o escasea de forma drástica genera innumerables daños (ONU, 2021).

Las inundaciones son eventos que se pueden definir como un fenómeno de origen natural o antrópico, en el cual la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un

incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos y mares, generando el anegamiento temporal de zonas que usualmente no lo están. Salazar (2013) define dicho proceso como la expresión dialéctica agua-territorio, fundamental en el dinámico proceso de modelado del paisaje en el planeta tierra. Las inundaciones son un tema que investigadores han posicionado como una de las líneas torales de investigación de los hidrólogos (Kidson & Richards, 2005; Merz *et al.*, 2019; Shaleen & Lall, 2001; Villarini, Smith, Serinaldi, Ntelekos, & Schwarz, 2012).

Cuando un evento de inundación tiene lugar en una zona despoblada, se pueden presentar afectaciones a cultivos en zonas agrícolas y daños a infraestructuras civiles cercanas; sin embargo, es de nuestro conocimiento que a lo largo de la historia los asentamientos humanos se han desarrollado en los márgenes de los ríos (López & Francés, 2013). Es en el contexto anterior que la importancia de los eventos de inundación se amplifica cuando las zonas anegadas son centros urbanos densamente poblados donde puede cobrarse la vida de personas.

A escala global, las inundaciones son las catástrofes más comunes y la principal causa de mortalidad (Merz *et al.*, 2019). Mishra *et al.* (2022), en su revisión sobre el estado actual de las inundaciones, mostraron que las inundaciones continúan siendo los fenómenos que afectan a la mayor cantidad de personas y que experimentan un mayor crecimiento. Aunado a lo anterior, la base de datos internacional de desastres (EM-DAT) muestra que en los últimos 40 años los desastres han experimentado un importante crecimiento en su frecuencia (EM-DAT, 2022).

Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo general realizar un análisis geoespacial de las zonas afectadas históricamente por inundación en el municipio de Guadalajara, Jalisco, México, durante el periodo 2010-2022 desde una base de datos de emergencia recopilada por el H. Cuerpo de Bomberos de Guadalajara. El estudio está enfocado en abordar los siguientes objetivos específicos: a) establecer los criterios de recurrencia de los sitios de afectación por inundación atendidos de 2010 a 2022; b) evaluar los servicios por inundación de la Coordinación Municipal de Protección Civil de Guadalajara (CMPCG); c) obtener un mapa de categorización por inundación; d) determinar periodos de retorno a partir del inventario de inundaciones; e) determinar y definir los sitios recurrentes de inundación (SiRI), las colonias recurrentes de inundación (CRI), y los sitios críticos de inundación (SiCI).

## Antecedentes

De acuerdo con el Informe Mundial Sobre Desastres (IFRC, 2020), en los últimos diez años los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos desencadenan el 83 % de los desastres que involucran a las inundaciones, tormentas y olas de calor que causaron la muerte de 410 000 personas en los últimos diez años con 1 700 000 000 de personas afectadas por este tipo de desastres a nivel mundial. En tal sentido, las inundaciones son uno de los desastres más frecuentes y peligrosos del mundo (Avila-Aceves, Rocha-Plata, Mojardin-Armenta, & Rangel-Peraza, 2023). Hasta ahora, la concepción dominante respecto a las inundaciones y los cambios en el clima ha sido la del cambio climático como agente activo, y la sociedad como agente pasivo o receptor. Sin embargo, se ha comprobado

que la sociedad es actor completo en este proceso. De hecho, la sociedad es la que, a partir de diversas causas políticas, económicas, socioculturales y ambientales, construye su propia vulnerabilidad.

En los últimos años, las inundaciones causadas por tormentas y huracanes en México se han incrementado, generando cada año graves pérdidas económicas e infraestructura, siendo más evidentes los daños en las zonas costeras del océano Pacífico y el Golfo de México (Haer *et al.*, 2018). En este contexto, el país invierte gran cantidad de recursos en poder restaurar las condiciones de las regiones afectadas, para permitir recuperar las actividades de la población. Resulta evidente la gran vulnerabilidad en grandes regiones del país, así como la ausencia de medidas preventivas (Salas & Jiménez, 2014). El diseño institucional mexicano para enfrentar los cambios que experimenta el clima y los efectos de este en la frecuencia y magnitud de eventos hidrometeorológicos extremos “se ha concentrado más en la acción de reparación y asistencia frente a la presencia de eventos naturales extremos, que en la prevención de los efectos devastadores de los mismos” (Constantino & Dávila, 2011). Los resultados han demostrado el fracaso de las intervenciones reactivas, lo que ha generado una nula reducción del riesgo, y por lo tanto se mantiene la alta probabilidad de materialización del riesgo en desastres con el correspondiente efecto negativo que conllevan.

En ese sentido existen diferentes trabajos que abordan el tema de inundación desde diversas perspectivas de acuerdo con la información disponible y con los niveles de precisión deseados, donde la mayoría se enfoca en la evaluación de inundaciones, lo cual es básico para el diseño de infraestructura, planificación de medidas y políticas de mitigación



enfocadas en los recursos hídricos (Vidrio-Sahagún & He, 2021). El modelado geoespacial de inundaciones ya sea hidrológica o hidráulicamente, en conjunto con los sistemas de información geográfica (SIG), brinda grandes ventajas para identificar inundaciones a gran escala (Avila-Aceves *et al.*, 2023), y es la base para la gestión integral del recurso hídrico en todo tipo de cuencas desde la alta montaña (Ocampo & Vélez-Upegui, 2014) hasta inundaciones pluviales en entornos urbanos (Bulti & Abebe, 2020).

Otros autores, como Elkhachy *et al.* (2021), obtuvieron mapas de peligro de inundación como un apoyo ante respuestas y diseño de planes de emergencias en función de la profundidad y velocidad del agua obtenidas mediante simulaciones con el *software* del sistema de análisis de ríos de los centros de ingeniería hidrológica (HEC-RAS). Maranzoni, Dória y Rizzo (2023) abordaron el tema de las inundaciones a través de un modelado hidrodinámico partiendo de la profundidad máxima del agua y la extensión de la inundación, y así obtener mapas de peligro, considerado como un paso fundamental en el mapeo de riesgo de inundación. Se ha mencionado, además, que como parte de la gestión del riesgo se requieren identificar zonas de inundación con datos de la extensión y altura del nivel del agua, llamadas medidas no estructurales de resiliencia del territorio, y que incluye la evacuación y planes de contingencia (Avila-Aceves *et al.*, 2023). Ante la falta de datos se han utilizado técnicas de multicriterio, probabilísticas y de análisis de información geográfica para obtener áreas con potencial de inundaciones (Vojtek, Vojteková, & Pham, 2021). Por lo tanto, se observa la gran ventaja que se tiene con el inventario de inundaciones de la Coordinación Municipal de Protección Civil de Guadalajara.



Las inundaciones en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) han sido abordadas por diferentes autores, entre ellos destaca el estudio presentado por Ornelas, Castillo y Salazar (2005), donde mencionan que el incremento de las inundaciones y las variables vinculadas con este fenómeno han estado influenciadas exclusivamente por las modificaciones en los regímenes de las cuencas debido al proceso urbano anárquico. Los autores destacan que las nuevas urbanizaciones se desarrollaron sobre lugares de alto riesgo asentadas en zonas topográficamente bajas, cauces, márgenes de canales y bordes; consideran, finalmente, como solución, un ordenamiento por cuenca hidrológica.

En un estudio posterior, Salazar, Juárez y Ramírez (2008) analizaron la intensidad, duración y periodo de recurrencia que pueden alcanzar las precipitaciones en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG). Para ello integraron una base de datos de lluvias máximas en 24 horas y usaron procedimientos estadísticos y empíricos; encontraron que las inundaciones en la ZMG han aumentado por el desmedido crecimiento poblacional, invasión de cauces naturales, deficiente urbanización y por la canalización del agua, lo que sin duda altera las condiciones naturales de suelo y disminuye la capacidad de infiltración y retención de humedad, lo cual provoca el incremento de escurrimiento de aguas pluviales.

Se ha mencionado también que el problema de las inundaciones es de antaño (GacetaUdeG, 2010), pues se inició en la década de 1950 y se ha agravado con el paso de los años, y que se necesita un esquema de magnitud del problema, además de un plan maestro que incluya colectores de acuerdo con el crecimiento urbano, evitar la urbanización en zonas peligrosas y mayores microcuencas que impidan la sustitución de colectores naturales por artificiales.

La vulnerabilidad en sitios dentro de la ZMG afectadas por las inundaciones con pérdidas patrimoniales ha sido recopilado por Torres, Franco, Souza y Lattuada (2019). El estudio destaca el inadecuado funcionamiento del Programa de Manejo Integral de las Aguas Pluviales (PROMIAP) y el Plan Integral para el Manejo de Inundaciones (PIMI), los cuales se promocionaron como la solución para todos los problemas de inundaciones en la ZMG y que, sin embargo, no han logrado mermar la problemática que año con año incrementa el número de colonias con riesgo de inundación en el temporal de lluvias, aunado al incremento de los puntos de riesgo de inundación de 147 (entre recurrencias históricas y recientes) a poseer cerca de 380 de acuerdo con registros del Instituto de Información Estadística y Geográfica e información del inventario de riesgos que elabora la Unidad Estatal de Protección Civil y Bomberos de Jalisco.

La ocurrencia de inundaciones en Guadalajara es una construcción social originada dentro de procesos externos e internos de la vida diaria de las personas (Durán, 2019), por ello es importante recurrir al contexto histórico para explicar los procesos que configuran dichos desastres. Las autoridades de diferentes coordinaciones, instituciones y dependencias del gobierno de Guadalajara involucradas con alguno de los temas del inicio y preparación del temporal de lluvia realizan cada año esfuerzos para estar preparados. Entre las principales actividades se incluyen visitas a campo en los principales SAI para detectar necesidades como poda de árboles, preparación de refugios, limpieza de canales, ríos, arroyos y bocas de tormentas; también se tiene el desalojo de personas en situación de calle, dado el paso de corrientes de agua, puentes y canales. Estas actividades contribuyen con las preparaciones por parte de las

dependencias de gobierno ante el inicio del temporal de lluvias; es importante implementar soluciones de mayor alcance para aminorar el riesgo de la población.

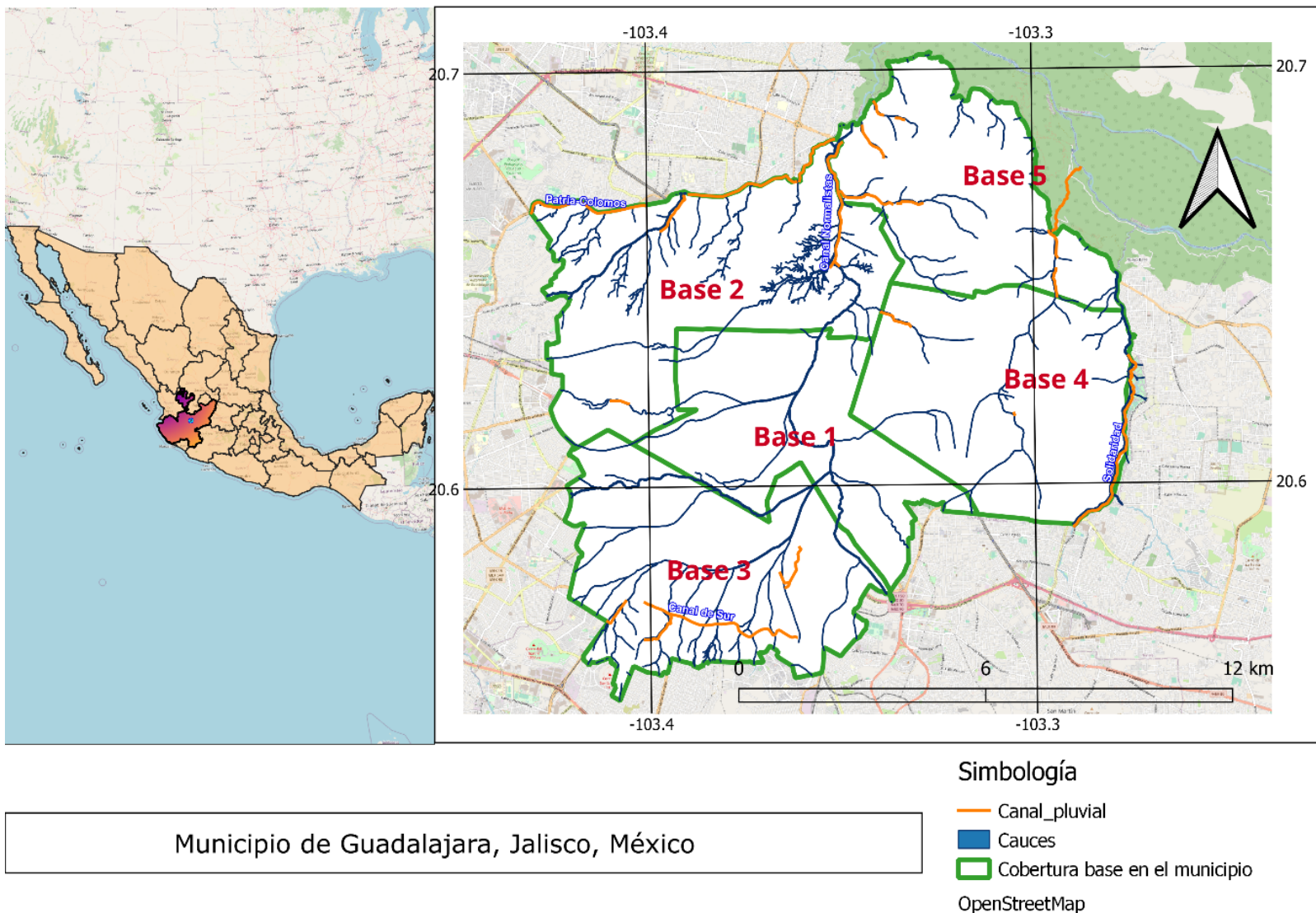
Cada evento de precipitación en el municipio de Guadalajara y específicamente los primeros eventos de la temporada ocasionan algún tipo de daño; por ello, contar con un análisis del inventario de inundaciones que corresponden a datos in situ derivado de la atención a emergencias o evento significativo de inundación en el municipio de Guadalajara es un primer paso para iniciar con un esquema preventivo ante desastres para reducir así la atención de servicios, y que dicho documento sirva para la reconstrucción de daños al implementar estrategias y programas de largo alcance enfocados a prevenir y reducir efectos, y con esto lograr un municipio menos vulnerable frente a fenómenos extremos como las inundaciones.

## Área de estudio

El municipio de Guadalajara se localiza entre las coordenadas de 103.26°W y 103.40°W y 20.6° a 20.75°N, y es la capital del estado de Jalisco. México tiene 126 millones de habitantes de los cuales Jalisco tiene 8 348 151 millones y en Guadalajara se concentran 1 385 629 de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2020 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La ciudad de Guadalajara ha desempeñado un papel indispensable en la economía del estado de Jalisco; en el año 2000 albergaba a un 56 % de la población estatal por el incremento de las migraciones del interior del estado y de otras entidades federativas, creando déficit en las necesidades de

infraestructura (Herrera & Huizar, 2005). El proceso de expansión de la mancha urbana inició hace unos 50 años, consumiendo el espacio con modificaciones profundas, como fraccionamientos irregulares en la zona conurbada de Guadalajara, división de lotes de manera irregular, e impulso a la industrialización que generó expansión hacia las zonas ejidales y desaparición de zonas agrícolas. La zona de Guadalajara ocupa la parte sur de la altiplanicie mexicana, conocida como meseta de Anáhuac; limita al sur con el eje volcánico, al oeste con la Sierra Madre Occidental y al este con la Sierra Madre Oriental. Los máximos de precipitación acumulada en Guadalajara dentro del periodo de estudio comprendieron los años 2010 con 1 025.4 mm, 2013 con 1 057.2 mm, 2015 con 1 252.1 mm, 2018 con 1 052.3 mm y 2022 con 1 482.8 mm (IAM, 2023).

La CMPCG cuenta con cinco estaciones —también nombradas bases de bomberos— distribuidas por todo el municipio de Guadalajara (Figura 1), las cuales son encargadas de cubrir diferentes zonas para tener accesibilidad pronta y oportuna siempre al servicio de la población, ya que durante el temporal de lluvias en el municipio de Guadalajara —que abarca de junio a octubre— se incrementa la demanda de servicios por parte de la población del municipio hacia la Coordinación Municipal de Protección Civil de Guadalajara.



**Figura 1.** Distribución espacial de las bases de la CMPCG en el municipio de Guadalajara, Jalisco, México. Localización de los ríos y canales pluviales.



## Metodología

La CMPCG, encargada de salvaguardar la vida, bienes, servicios y entorno de la población, alberga al Heroico Cuerpo de Bomberos de Guadalajara y como parte de sus actividades se encuentran los siguientes: atención de incendios, inundaciones, accidentes automovilísticos, fugas de gas y derrame de sustancias químicas, entre otros. En este caso, el estudio se enfoca exclusivamente al análisis de las alturas de inundaciones como una primera parte de la estrategia de prevención.

## Recopilación y análisis de datos

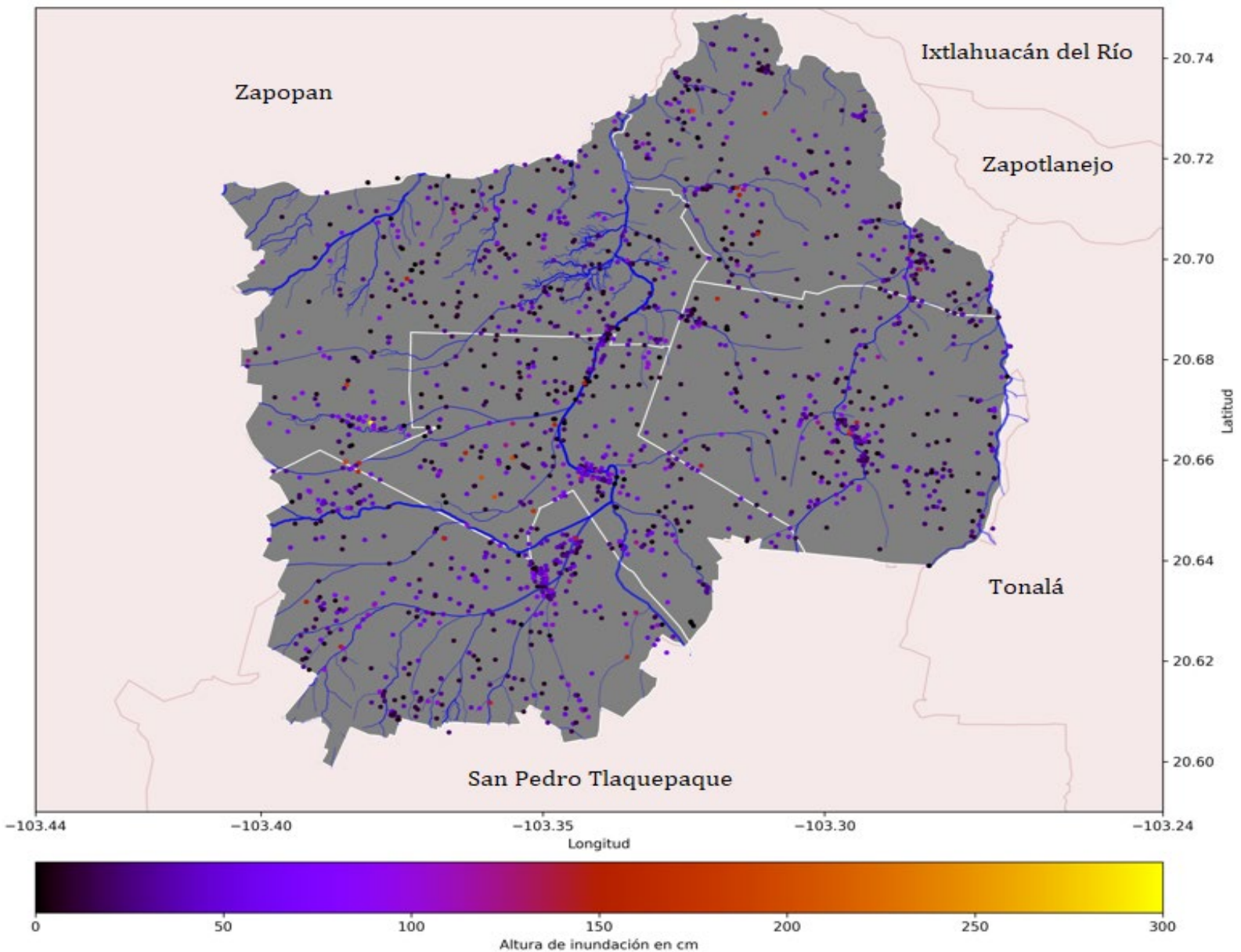
La CMPCG se enfoca año con año en atender emergencias derivadas por el temporal de lluvias. Desde 2010 y hasta la fecha se ha creado y almacenado dentro de la base de datos de emergencia un inventario de inundaciones que comprende el periodo 2010-2022, producto de la atención solicitada de la población a dicha institución y que contiene información como domicilio del sitio de afectación, que es equivalente al servicio atendido y a la inundación en sí, ya que el bombero acude al sitio porque existe un daño derivado de este fenómeno que ha sido reportado a las cabinas de comunicación de la CMPCG, además de datos de altura de la inundación, colonia, cruce y número de bomberos que acuden, entre otros.

El inventario de inundaciones contiene entonces los sitios de afectación por inundación (SAI), que son recopilados en tiempo real de manera manual a partir de un trabajo en conjunto; se pasa la información a otros bomberos, llamados “escribientes”, encargados de digitalizarla,

donde se almacena y se descarga desde una base de datos llamada captura de servicios, que se encuentra en proceso de mejora continua para trasladar la información a una nueva plataforma llamada SPRINT, creada en 2022 por personal de la Dirección de Planeación de dicha institución.

Este inventario de inundaciones se convierte en una parte muy importante de la CMPCG, pues autores mencionan que los datos de inundaciones y específicamente los daños son muy raros de encontrar y es menos frecuente que los datos hidrométricos; en algunos casos existen, pero con restricciones de privacidad. Un aspecto de vital importancia es el análisis inicial de los datos, donde en una primera instancia se detectaron cuestiones básicas, como la ortografía de las calles, colonias, cruces y referencias del sitio de la inundación. Además, se necesitaba que la base de datos fuera de calidad, y para ello se aplicó limpieza y filtrado de la base de datos mediante tablas dinámicas de Excel para eliminar aquellos datos espurios como errores muy marcados en la altura de la inundación, o detección de ubicaciones que no contaban con coherencia entre las colonias, cruces, referencias y calles. Este paso fue indispensable para trasladar la información a un SIG; en este caso se utilizó Google Earth Pro para obtener la georreferenciación de los sitios de inundación. Finalmente se obtuvieron 3 676 servicios atendidos, equivalentes a los sitios de afectación por inundación (SAI) (Figura 2).





**Figura 2.** Sitios de afectación por inundación (SAI) el municipio de Guadalajara en el periodo 2010-2022, donde la escala de color indica el tirante de agua registrado.

La revisión exhaustiva de la información permite generar un inventario de inundaciones robusto y de calidad que es base para asegurar certidumbre y fidelidad de los resultados que derivan del presente estudio. La información geográfica fue manipulada en el Sistema de Información Geográfica QGIS en su versión 3.28.1, el cual es de libre acceso. La proyección utilizada para los datos generados vectoriales y ráster fue el sistema geodésico de coordenadas WGS 84.

Una vez identificados los SAI, se implementaron técnicas estadísticas descriptivas, como las medidas de tendencia central, las medidas de tendencia relativa y los gráficos de cajas, los cuales proporcionan información sobre la calidad de los datos.

## **Análisis de los sitios de afectación por inundación**

En la primera parte del análisis se asociaron y contabilizaron los SAI atendidos durante el periodo 2010-2022 anualmente a una base o estación de bomberos. La segunda asociación que se realizó fue identificar el número de eventos de precipitación con base en la fecha en que se atendieron los servicios; esto corresponde a una aproximación de la incidencia del evento, pues como se sabe, durante un día puede precipitar más de una vez y en esta base de datos no se cuenta con la hora de la atención del servicio; cabe mencionar que los resultados encontrados no se evalúan con estaciones. Los cálculos se obtuvieron con ayuda del lenguaje de programación Python y la librería de Pandas, misma que se utilizó para la asociación de los sitios históricos de afectación por inundación con las estaciones de servicio de bomberos de la CMPCG,

llamadas comúnmente bases, lo que permitió obtener porcentajes de los servicios atendidos durante el temporal de lluvias.

Los servicios de atención por inundación proporcionan un panorama de las cargas de trabajo presentes durante el temporal de lluvias, para posteriormente, y de ser necesario, tener una mejor organización en cuanto a equipo o personal en dichas estaciones de bomberos y con ello mejorar la respuesta del personal de la CMPCG. De igual forma, del inventario de inundaciones se extrajo información referente a la afectación en sectores y se identificaron aquellos que han presentado una mayor vulnerabilidad a las inundaciones en el municipio de Guadalajara y cuáles son los que año con año han requerido una mayor atención por parte del personal de operaciones de la CMPCG.

En el marco del análisis geoespacial se obtuvieron interpolaciones para observar aquellas zonas donde tiende a concentrarse el mayor número de sitios de afectación por inundaciones o lo que es equivalente a los servicios atendidos, utilizando para ello el método del inverso de la distancia. Estos análisis se llevaron a cabo con rutinas en Python y librería de Geopandas.

Se aborda también un análisis estadístico descriptivo de las alturas de inundación reportadas en el inventario de inundaciones, lo cual permite observar su distribución y frecuencia.

## Generación del mapa de categorización por nivel inundación

Se obtuvo un mapa de categorización por nivel de inundación del municipio de Guadalajara, para ello, una vez georreferenciados los puntos de inundación, se ubicaron dentro del municipio de Guadalajara, se agregaron las colonias y se realizó una unión de atributos por localización, a fin de poder asociar los niveles de inundación a cada colonia considerando aquellos puntos de inundación que contiene, caen dentro y solapan al polígono de colonia usando el *software* QGIS. Se realizó después el promedio de la altura de inundación de cada punto localizado dentro de cada polígono de colonia usando la herramienta de procesos *agregar* en QGIS, y luego se asignó una categoría de rango bajo a crítico. A pesar de que existen criterios de peligro usados en diversos países para evaluar las inundaciones (Alcocer-Yamanaka, Varela, Bourguett-Ortiz, Llaguno-Guilberto, & Góngora, 2016), trasladar los criterios empleados al municipio de Guadalajara requeriría distintos ajustes, y en este sentido y dirigido hacia el desarrollo de un estudio e investigación más local, se ha procedido a realizar un análisis de la altura de inundación recopilada en el municipio de Guadalajara con una respectiva clasificación de rangos locales y de mayor frecuencia suscitados año con año. Otros mapas de peligro se han realizado anteriormente tal cual lo menciona el documento de Durán (2019).

Los rangos de colores se seleccionaron conforme a la escala cromática empleada en la representación de amenaza, vulnerabilidad, riesgo y peligro (Sedatu, 2016); para determinar los rangos de categorización de altura de inundación se aplicó un análisis de frecuencia

de acuerdo con los resultados del análisis: el rango bajo de inundación corresponde a un nivel menor o igual a 25 cm; el rango medio, a valores mayores de 25 y menores de 70 cm; mientras que en el rango alto los valores oscilan entre 70 y 100 cm, y el rango crítico concierne a aquellos valores mayores que 100 cm.

### **Obtención de los sitios y colonias recurrentes de inundación (SiRI y CRI), y sitios críticos de inundación (SiCI)**

Se partió de un total de 3 676 SAI, que es equivalente a los servicios atendidos por personal de la CMPCG. Los sitios recurrentes de inundación (SiRI) se definieron en este documento como los lugares con cierto grado de afectación que cumplen con los siguientes criterios de recurrencia:

- Un acumulado anual mayor o igual a 25 cm de lámina de inundación.
- Frecuencia histórica mayor o igual a 12 sitios de afectación por inundación, considerando a todos los sectores como vía pública, comercio y casa habitación, entre otros.

Las colonias recurrentes de inundación (CRI) se definieron como aquellas colonias con mayor acumulado histórico de inundación y mayor frecuencia histórica aunada a la aplicación de criterios de recurrencia.

Finalmente, los sitios críticos de inundación (SiCI) se definieron como aquellos que corresponden a los valores de frecuencia más altos registrados en la base de datos histórica y que además cumplieran con

los criterios de recurrencia e incidencia tanto en el campo de domicilio como el campo de cruce.

## Resultados

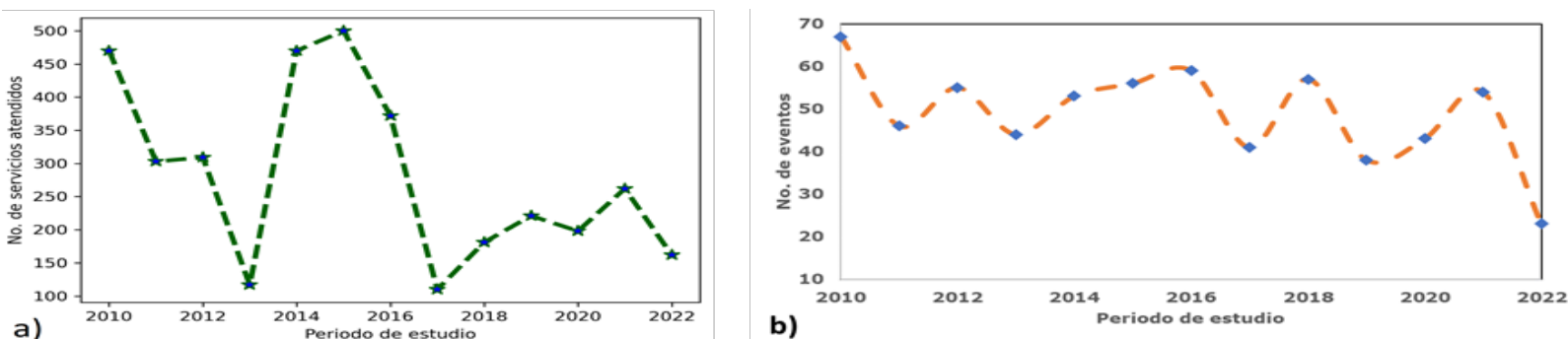
En este apartado se muestran los resultados generados en el estudio y se realiza una discusión sobre los mismos.

### **Análisis de los sitios de afectación por inundaciones en Guadalajara**

Se muestran a continuación los resultados del análisis de las inundaciones. Cabe recalcar que los SAI son equivalentes a los servicios atendidos que se derivan únicamente por el temporal de lluvia.

En la Figura 3a se muestra el número de servicios atendidos en el municipio de Guadalajara. El mayor número de servicios fue en los años 2010 y 2014 con 470 servicios, y un máximo de 500 servicios de inundación en 2015; se puede observar que a partir de 2017 ha habido una disminución de los servicios atendidos. Por otro lado, en la Figura 3b se muestra el resultado de un aproximado del número de eventos de precipitación, con un máximo de 67 eventos de precipitación en 2010; se observa una clara disminución con el paso de los años, que pasa de 57 eventos en 2018 a un mínimo de 23 en 2022; de manera general se observa que cada año se presenta un número de eventos de precipitación por arriba de 40, con excepción de 2019 y 2022.





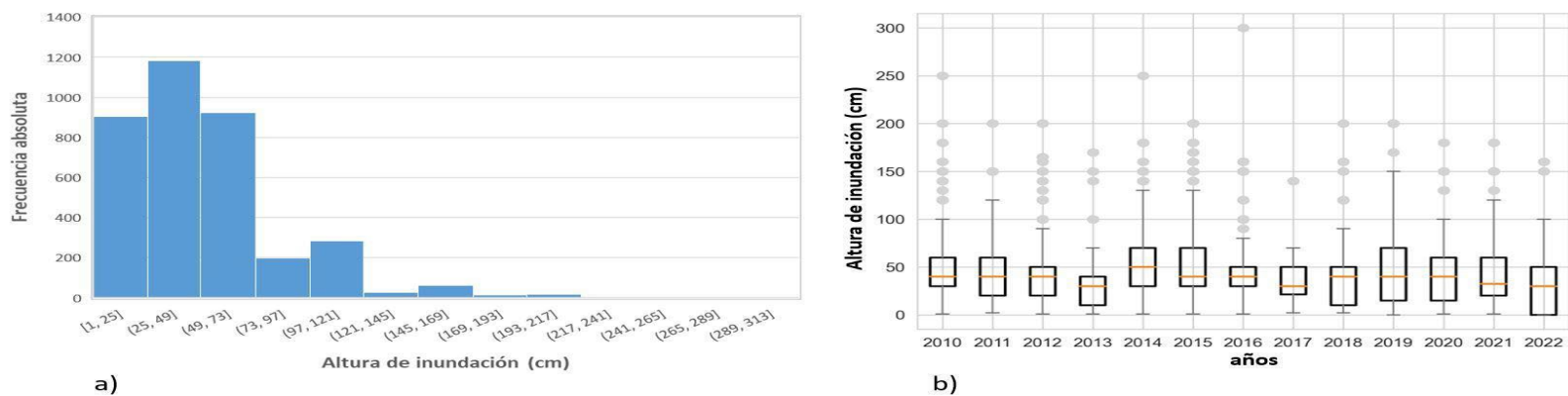
**Figura 3.** a) Número de servicios atendidos por año en la CMPCG, asociados con sitios de afectación por inundación; b) aproximado del número de eventos históricos de precipitación en el municipio de Guadalajara.

Por otro lado, la temporada de huracanes de 2015 fue de las más activas de los últimos tiempos, con presencia de 22 ciclones tropicales en el océano Pacífico y donde se recuerda al huracán Patricia como uno de los más intensos, dado que en tan solo 24 horas se intensificó a huracán de categoría 5 y que por supuesto sus efectos alcanzaron al estado de Jalisco (Conagua, 2015); 2014 tuvo también una importante actividad ciclogénica (SMN, 2023).

## Análisis de frecuencias de la altura de inundación

La distribución de frecuencia de las alturas de inundación se puede observar en la Figura 4a, donde se exhibe una distribución asimétrica con sesgo a la izquierda, siendo esto resultado de que el 83 % de los eventos se concentra entre alturas de 1 y 73 cm. El resultado observado es el común en registros de eventos extremos hidrológicos. La Figura 4b

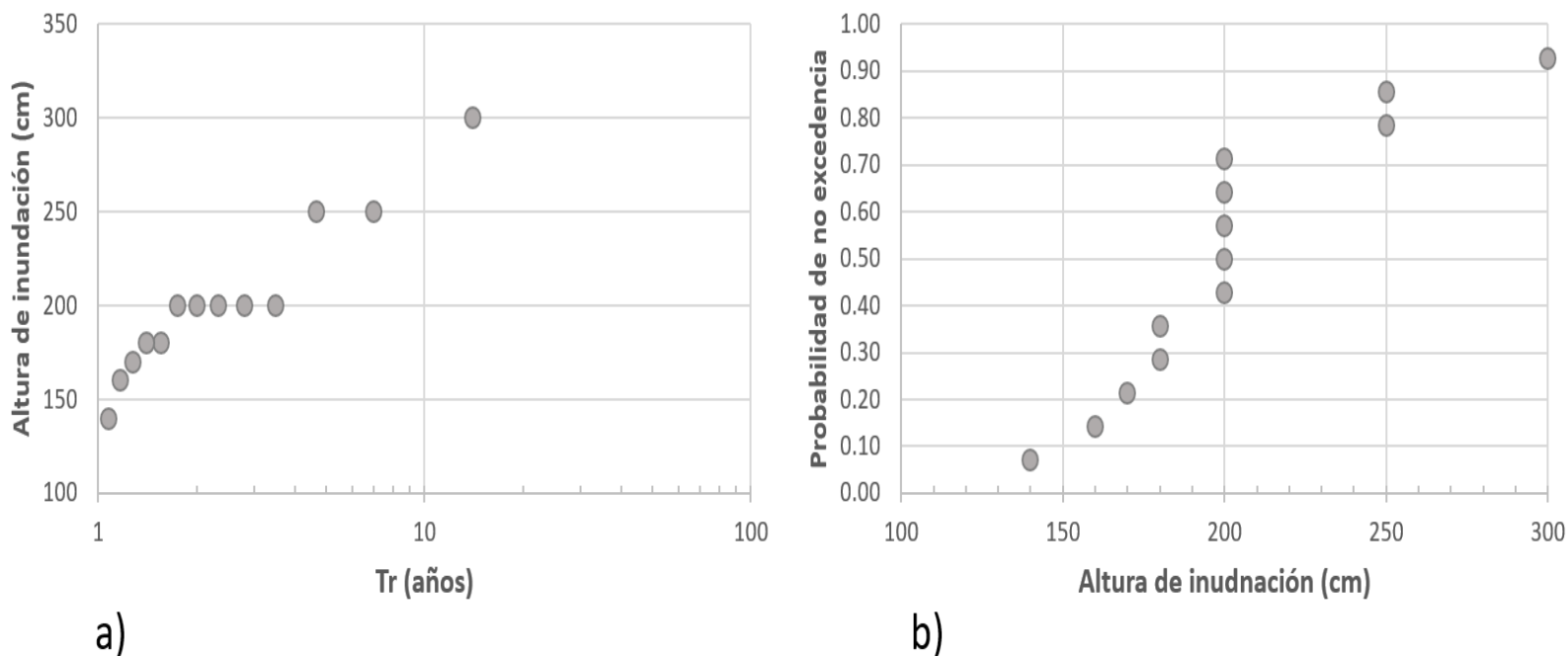
muestra el comportamiento de la mediana, los cuartiles del 25 y 75 %, y el máximo y mínimo de los registros. El comportamiento de la mediana no exhibe un cambio gradual (tendencia) o brusco (ruptura) al igual que los cuartiles; donde sí se observa una tasa de decremento es en el comportamiento del máximo, y el número de sitios o servicios registrados.



**Figura 4.** a) Histograma de frecuencia de los registros de altura de inundación; b) gráficos de cajas donde se presentan los cuartiles del 25, 50 y 75 %, y la desviación estándar.

La curva de frecuencia de las alturas de inundación máxima anual se tiene en la Figura 5a, donde se puede identificar el periodo de recurrencia de las inundaciones. Se observa un salto en dos periodos de retorno en las inundaciones con periodo de retorno mayor o igual a 2 y 5 años, donde se tienen incrementos importantes en las alturas de inundación. La Figura 5b permite identificar la probabilidad de no excedencia asociada con cada evento; las inundaciones inferiores a 200 cm están asociadas con probabilidades inferiores a 40 %, mientras que una altura de inundación superior a 100 cm se puede presentar cada año,

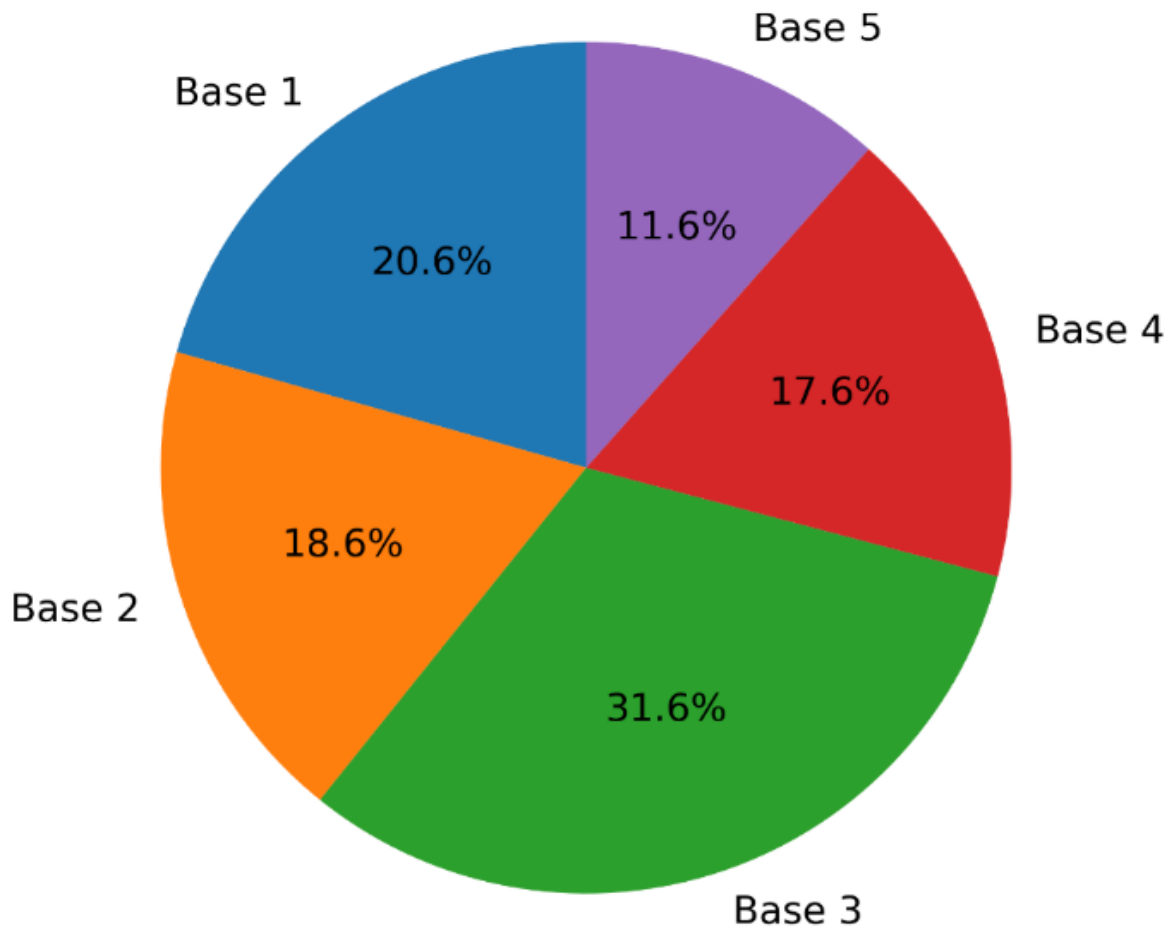
y cuenta con una probabilidad de presentarse o exceder ese valor mayor de 90 %. La sistematización de las profundidades de inundación y su asociación con periodos de retorno puede ser una herramienta para incorporar al diseño de infraestructura y la generación de los planes de contingencia, además de poder llevar este análisis a nivel de colonia.



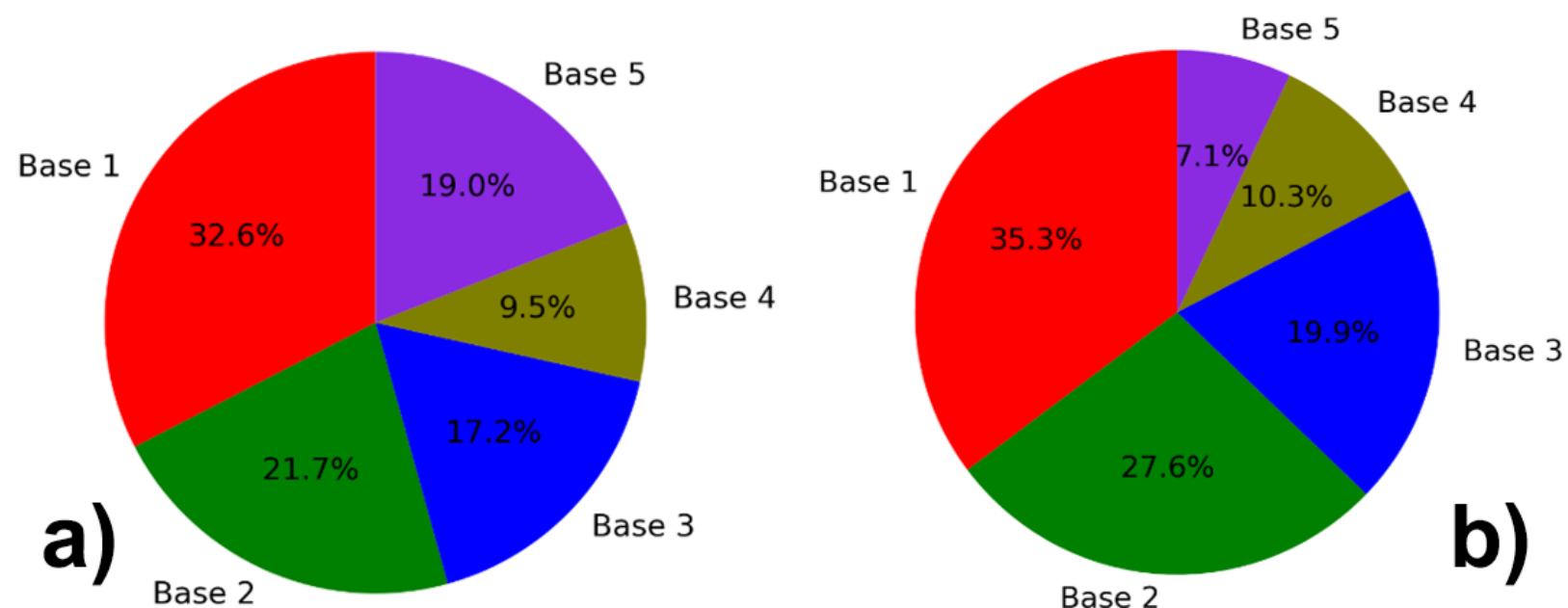
**Figura 5.** a) Curva de frecuencia de las alturas de inundación máximas anuales registradas; b) probabilidad de no excedencia de las alturas de inundación máximas anuales.

## Evaluación de los servicios atendidos de la CMPCG

Es importante conocer el porcentaje de servicios atendidos por bases de bomberos, ya que proporciona un panorama de las cargas de trabajo presentes durante el temporal de lluvias, para posteriormente, y de ser necesario, tener una mejor organización en cuanto a equipo o personal en dichas bases de bomberos y con ello mejorar la respuesta del personal de la CMPCG. En la Figura 6 se observa el porcentaje de servicios históricos atendidos por cada una de las bases de bomberos, donde la base 3 es la que históricamente ha atendido un mayor número de servicios asociados con inundación con un 31.6 %, seguido por la base 1 con un 20.6 % y la base 2 con un 18.6 %. La base 5 es la que históricamente ha tenido una menor actividad durante el temporal de lluvias con un 11.6 %, mientras que la base 1 (Figura 7) ha tenido mayor actividad en 2019 y 2022.



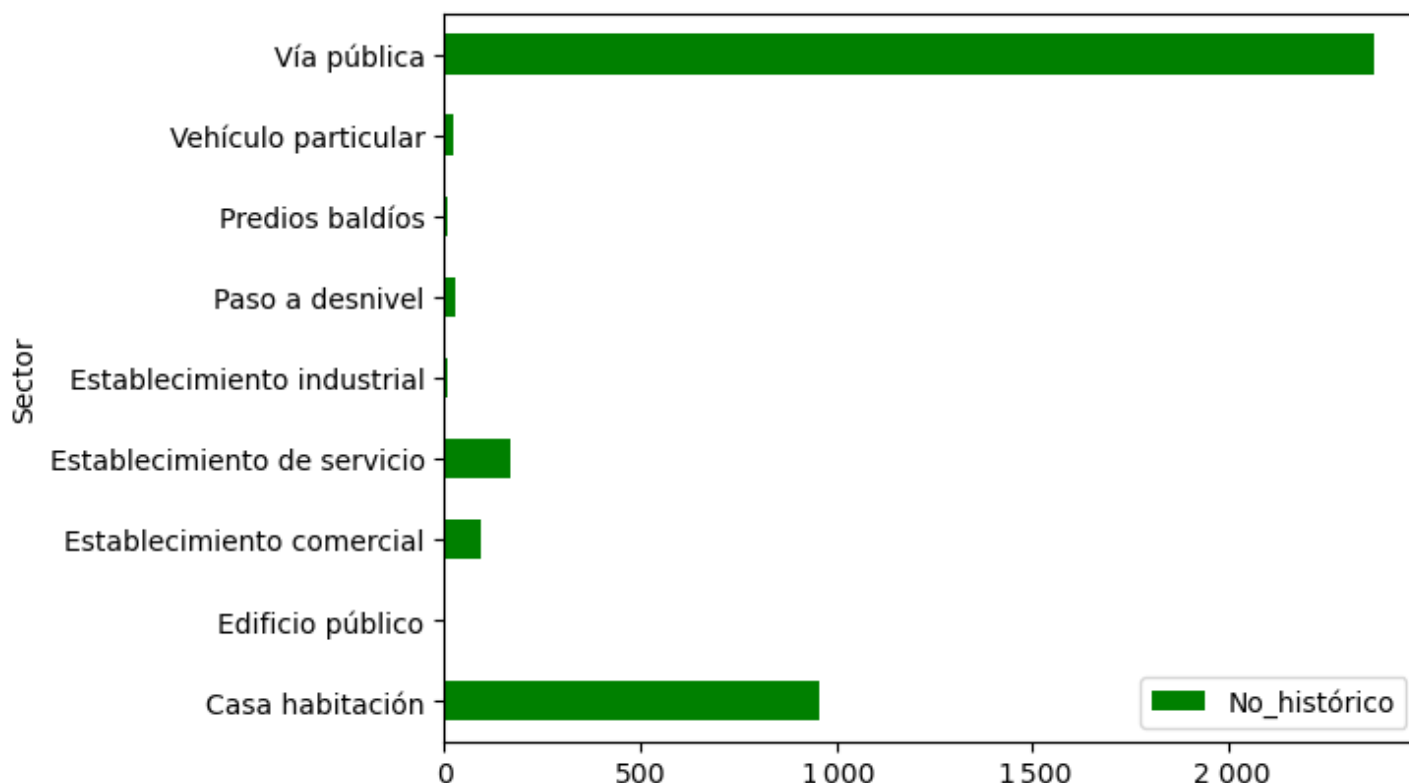
**Figura 6.** Porcentaje histórico de servicios de inundación atendidos por bases en la CMPCG.



**Figura 7.** Porcentaje histórico de servicios de inundación atendidos por el personal de la CMPCG durante 2019 (a) y 2022 (b).

Se pueden observar muy claramente en la Figura 8 los sectores históricamente más afectados por las inundaciones, entre ellos: la vía pública, con 2 369 atenciones históricas por parte los bomberos hacia la población; casa habitación con 954 atenciones; establecimientos de servicio con 170 atenciones por alguna emergencia por inundación; establecimientos comerciales con 92, y pasos a desnivel con 27 atenciones. Hay otros sectores que han tenido afectaciones con un número menor a cuatro, como escuelas y canales, que no se han considerado en los resultados de la Figura 8.



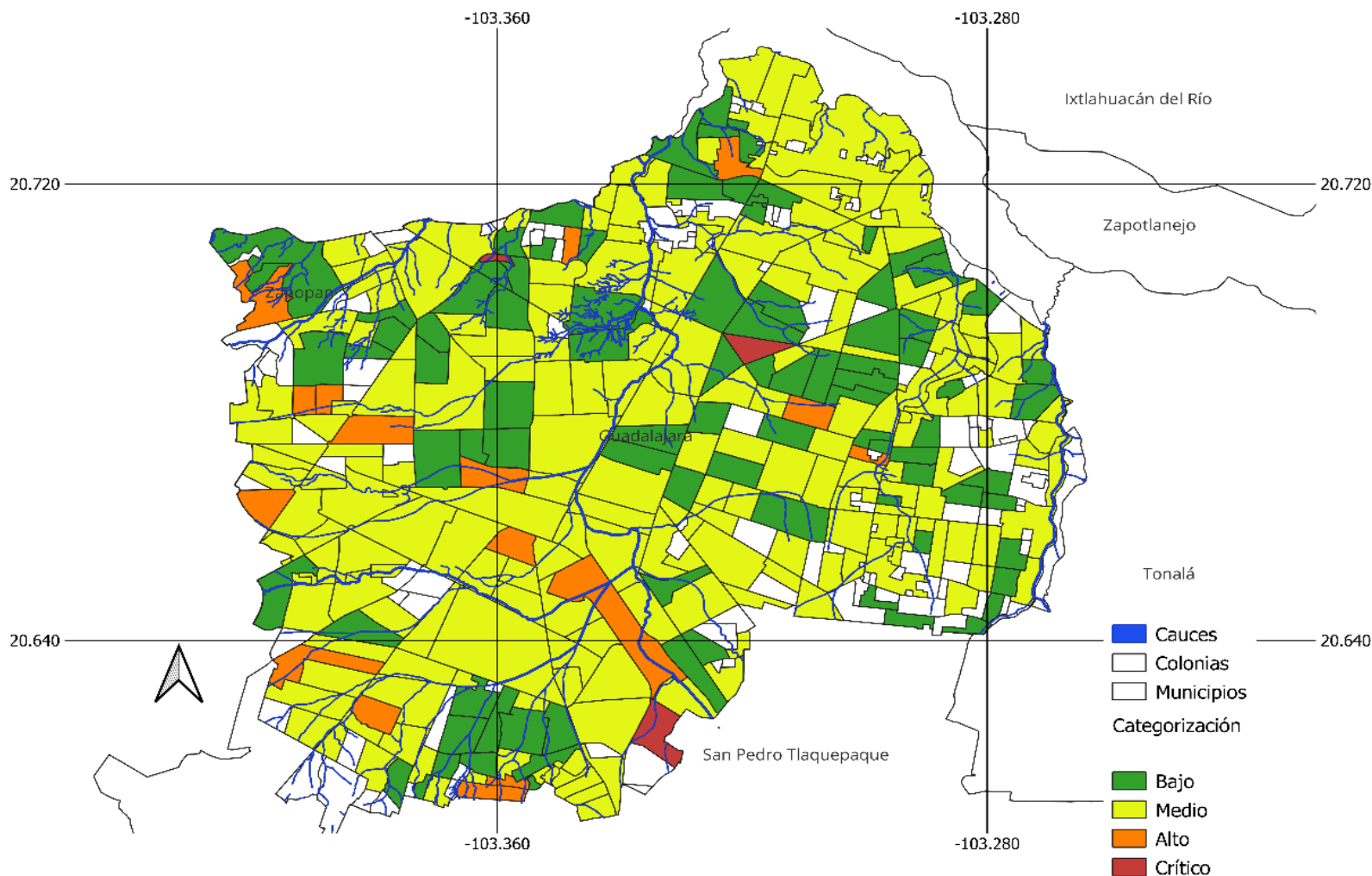


**Figura 8.** Sectores históricamente más afectados por el temporal de lluvias de acuerdo con el número de servicios atendidos.

## Mapa de categorización por nivel de inundación

Muchos de los asentamientos irregulares, contaminación, invasión de canales, ríos y arroyos en el municipio de Guadalajara están asociados con la falta de conocimiento de lo que esto conlleva, así como desinterés de los conceptos básicos para la conservación y calidad de vida. En la Figura 9 se presenta un mapa de categorización de acuerdo con los rangos de frecuencia de los niveles de inundación, los cuales van desde un nivel bajo (en color verde) a un nivel crítico (en color rojo), donde el rango predominante de categorización corresponde al nivel bajo a medio, con

una mayor tendencia a nivel alto de inundación en la parte centro-sur del municipio, justo donde se observa el mayor número de afluentes. Con este mapa se pueden visualizar las colonias que año con año representan un nivel medio y alto de inundación en el municipio de Guadalajara, y las colonias que hasta el momento han presentado inundaciones no tan significativas y que seguramente han sido menos frecuentes, o con un tirante por debajo del parámetro establecido en este estudio de altura de inundación.



**Figura 9.** Mapa de categorización de nivel de inundación a escala de colonia.

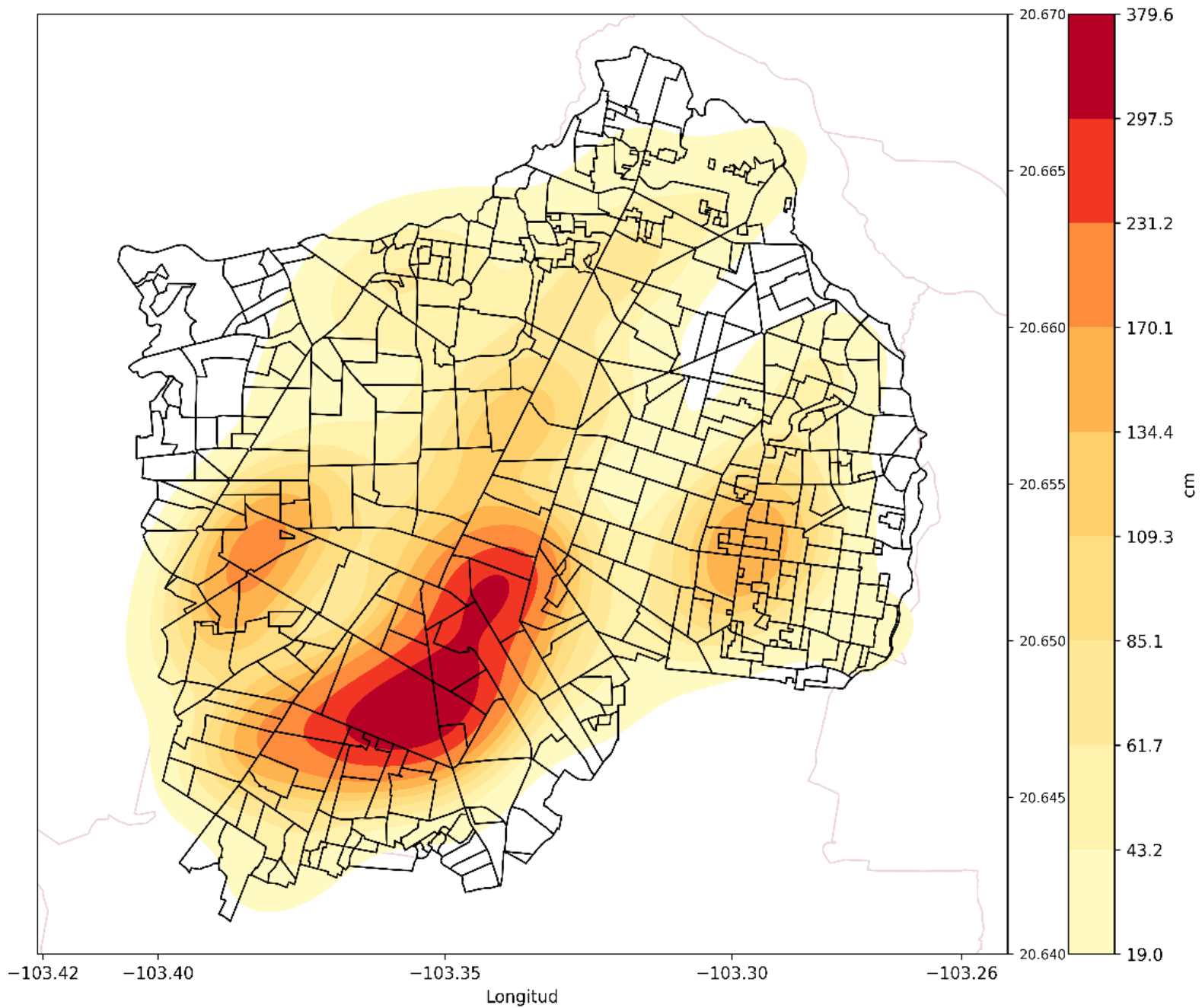
## Sitios y colonias recurrentes de inundación (SiRI y CRI) y sitios críticos de inundación (SiCI)

Una vez aplicados los criterios de recurrencia, se obtuvieron 63 SiRI, de los cuales se presentan únicamente 20 SiRI de los 63 sitios obtenidos (Tabla 1).

**Tabla 1.** SiRI con un mayor nivel de inundación y frecuencia históricas acumulada (20 de un total de 63 sitios).

| Núm. | Domicilio                     | Nivel acumulado (cm) | Frecuencia histórica |
|------|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| 1    | Av. Belisario Domínguez       | 2 566                | 54                   |
| 2    | C. Lope de Vega               | 2 750                | 43                   |
| 3    | Artes Plásticas               | 2 830                | 47                   |
| 4    | Av. Enrique Díaz de León      | 2 860                | 37                   |
| 5    | C. Las Conchas                | 3 015                | 48                   |
| 6    | Calz. Independencia Nte.      | 3 145                | 72                   |
| 7    | J. Salomé Pina                | 3 185                | 54                   |
| 8    | C. José Luis Verdía           | 3 940                | 64                   |
| 9    | Av. Niños Héroes              | 4 020                | 77                   |
| 10   | Av. Cvln. División del Norte  | 4 031                | 55                   |
| 11   | Av. Isla Pantenaria           | 4 620                | 49                   |
| 12   | Av. Inglaterra                | 4 810                | 69                   |
| 13   | Av. Washington                | 5 085                | 63                   |
| 14   | Av. Mariano Otero             | 5 596                | 64                   |
| 15   | Tuberosa                      | 6 775                | 118                  |
| 16   | C. 32                         | 6 790                | 137                  |
| 17   | Av. Miguel López de Legaspi   | 7 125                | 152                  |
| 18   | Calz. Lázaro Cárdenas         | 7 791                | 105                  |
| 19   | Av. Cristóbal Colón           | 8 968                | 130                  |
| 20   | Av. Gobernador Luis G. Curiel | 11 700               | 208                  |

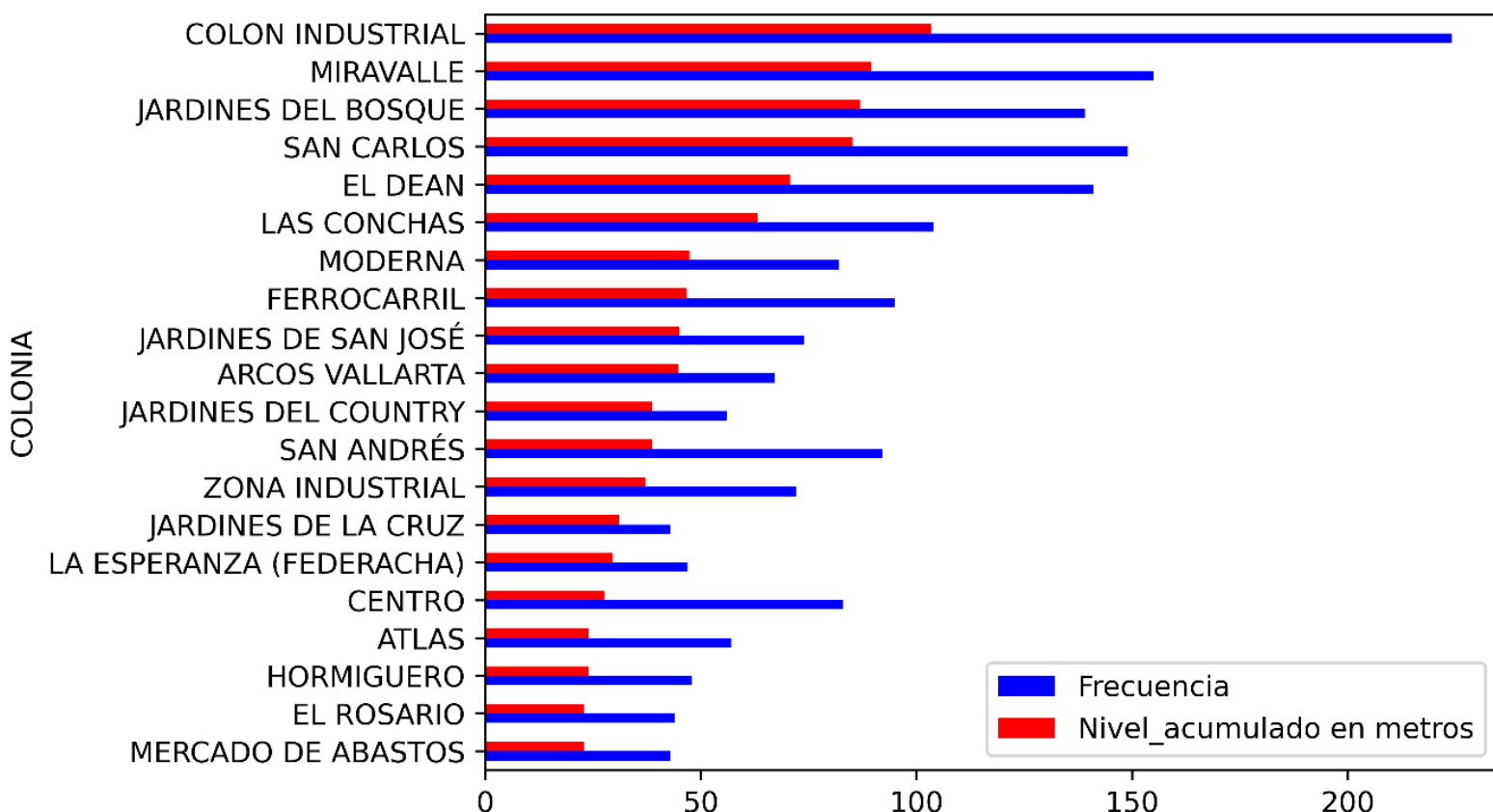
El análisis permitió identificar 65 CRI dentro de las cuales se tienen 1 240 SAI, y al hacer la interpolación se observa dónde se focalizan las mayores afectaciones, en la Figura 10 se muestra que se dan en la parte centro-sur de Guadalajara, seguido por la parte suroccidente y oriente del municipio.



**Figura 10.** Mapa de distribución espacial de los SAI localizadas dentro de las CRI.

La Figura 11 permite observar las colonias que han presentado la mayor frecuencia histórica (barras azules) y nivel de tirante de agua (barras rojas), a las cuales también se les podría llamar colonias críticas por inundación y entre las cuales se encuentran las siguientes: Colon Industrial, Miravalle, Jardines del Bosque, San Carlos y El Dean, principalmente. En total resultaron 65 colonias con inundaciones importantes durante los últimos 12 años de un total de 362 colonias del municipio.





**Figura 11.** Principales CRI con mayor tirante de agua (barras rojas) acumulado por colonia y frecuencia de sitios históricos de afectación por inundación en el municipio de Guadalajara (barras azules).

Finalmente, se obtuvieron los SiCI, donde aparte de cumplir con los criterios de recurrencia debieron cumplir con el criterio de incidencia al tener el mismo campo de domicilio y el mismo campo de cruce, y se obtuvo un total de 20 SiCI (Tabla 2), donde el valor máximo tiene una frecuencia histórica de 120 y un nivel acumulado histórico de 5 835 cm.

**Tabla 2.** SiCI, los cuales cumplieron con los criterios de recurrencia e incidencia tanto en domicilio como en cruce.

| Núm. | Domicilio                   | Cruce                         | Nivel acumulado (cm) | Frecuencia histórica |
|------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| 1    | Hilaria Ríos                | C. Manuel de Falla            | 440                  | 12                   |
| 2    | Félix Palavicini            | Av. Cvln. División del Nte.   | 610                  | 12                   |
| 3    | Río Tuxcueca                | Río Tizapán                   | 670                  | 13                   |
| 4    | Av. del Parque              | C. Europa                     | 740                  | 15                   |
| 5    | C. 11                       | C. 14                         | 827                  | 16                   |
| 6    | Av. de la Pintura           | Av. Gobernador Luis G. Curiel | 880                  | 13                   |
| 7    | C. 1                        | Av. Gobernador Luis G. Curiel | 890                  | 16                   |
| 8    | Av. Belisario Domínguez     | C. Joaquín Romero             | 895                  | 16                   |
| 9    | C. José Luis Verdia         | Tuberosa                      | 1 070                | 15                   |
| 10   | Av. Faro                    | Av. de las Rosas              | 1 310                | 24                   |
| 11   | Av. Niños Héroes            | Av. Inglaterra                | 1 320                | 20                   |
| 12   | Tuberosa                    | C. Las Conchas                | 1 450                | 27                   |
| 13   | Tuberosa                    | C. José Luis Verdia           | 1 470                | 25                   |
| 14   | Av. Niños Héroes            | Av. de los Arcos              | 1 770                | 36                   |
| 15   | Artes Plásticas             | Av. Gobernador Luis G. Curiel | 1 960                | 33                   |
| 16   | C. Lope de Vega             | Av. Inglaterra                | 2 620                | 41                   |
| 17   | J. Salomé Pina              | Av. Gobernador Luis G. Curiel | 2 665                | 47                   |
| 18   | Av. Isla Pantenaria         | Av. Cristóbal Colón           | 4 620                | 49                   |
| 19   | Calz. Lázaro Cárdenas       | Av. Mariano Otero             | 5 085                | 56                   |
| 20   | Av. Miguel Lopez de Legaspi | C. 32                         | 5 835                | 120                  |

## Discusiones

Una parte muy importante de este estudio es la base de datos con información que ha sido recopilada por el personal de operaciones de la CMPCG, ya que muchos de los estudios sobre inundaciones se basan en modelaciones hidráulicas e hidrológicas para obtener datos de altura de inundaciones, o mediante técnicas de multicriterio y otras técnicas probabilísticas para obtener áreas con potencial de inundaciones (Avila-Aceves *et al.*, 2023; Vojtek *et al.*, 2021). Otros autores (Pistrika *et al.*, 2014) mencionan que los datos de inundaciones y específicamente los daños son muy raros de encontrar, mucho más que los datos hidrométricos; en algunos casos existen, pero con restricciones de privacidad. Por lo tanto, se observa la gran ventaja que se tiene al contar con un inventario de inundaciones en la CMPCG con datos tomados in situ en el momento justo de máxima intensidad o al inicio de la precipitación, y se puede decir que son prácticamente en tiempo real. Es importante destacar que la base de datos no contiene la hora de atención de los servicios de emergencia, la cual sería importante para identificar los posibles eventos de precipitación, pues muchas veces se atienden varios servicios al día por diferentes eventos de lluvia.

Otro resultado por destacar es que al realizar un aproximado del número de eventos de precipitación, la mayoría está por arriba de 40, excepto en 2019 y 2022. De acuerdo con lo discutido por López, Magaña y Pérez (2022) ha habido un aumento a la vulnerabilidad por lluvias intensas y el riesgo de inundaciones repentinas en el municipio de Guadalajara dado el cambio de uso del suelo y la poca capacidad en la

red de drenaje, respectivamente, y donde año con año se esperan más de 30 eventos de lluvia.

Por otro lado, se observó una clara disminución de los servicios atendidos por parte de cuatro bases de bomberos de la CMPCG a partir de 2017, cuando se realizó una consulta de la obra pública en el municipio y año por año para observar las nuevas obras y su ubicación; a partir de 2017 hubo un incremento de estas obras, muchas localizadas en la parte centro y sur del municipio (Gobierno GDL, 2023); asimismo, a partir de ese mismo año disminuyó el número de eventos de precipitación.

Respecto a la categorización del nivel de inundación, se observa que la mayoría de las colonias tiene un nivel de inundación entre bajo a medio, con unas colonias con rango alto justo donde se ramifica el cauce principal que atraviesa el municipio, por lo que es importante recordar que la inundación es un acontecimiento social, un fenómeno que no muestra una sola cara, sino que está sujeto a múltiples interpretaciones en el marco de una trama sociocultural (Bartolomé, 2006), y que los peligros los construye la misma sociedad; por eso la evaluación de peligro es fundamental para el mapeo del riesgo (Bulti & Abebe, 2020; Maranzoni *et al.*, 2023).

Se trabajó con 3 676 SAI, que al obtener los SiRI corresponden a un total de 63, con 65 CRI y 20 SiCI, los cuales cumplen con los criterios de recurrencia; en el caso de los SiCI, se agregó el criterio de incidencia tanto en domicilio como cruce. De acuerdo con la información más reciente proporcionada por el Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara (IMEPLAN) se manejan 360 puntos de inundación (Ortiz, 2023), que en el año 2023 comenzaron

a nombrar también como sitios recurrentes de inundación, pero a nivel metrópoli. Es así como la identificación de las principales colonias recurrentes de inundación es una base para la prevención de riesgos, pues los criterios para la obtención de dichas colonias y sitios recurrentes están en función de la frecuencia y su altura de inundación significativa. Por otro lado, los sectores que más han sido afectados históricamente son la vía pública, casa habitación y establecimientos de servicio; en este sentido, se coincide con el sector académico e IMEPLAN en cuanto a la urgencia y necesidad de regular el crecimiento urbano en la ZMG (Ortiz, 2023), que contribuya a aminorar el riesgo de inundación no solo en el ámbito metropolitano sino también municipal.

Como parte de la investigación a futuro aún queda mucho por hacer, como un estudio enfocado a los daños directos, ya que la base de datos describe con mayor profundidad la afectación real del servicio atendido, el cual no se abordó en este trabajo.

## Conclusiones

Esta investigación se centra en el análisis de la base de datos recopilada durante la atención de emergencias por parte del área operativa de la CMPCG, dentro de la cual está el inventario de inundaciones que contiene los sitios de afectación por inundación (SAI). El análisis geoespacial histórico de las inundaciones en el municipio de Guadalajara se realizó con ayuda de herramientas SIG. Se obtuvo un mapa de categorización por inundación, además de SiRI, CRI y SiCI, entre las cuales están las siguientes zonas: Colon Industrial, Miravalle, Jardines del Bosque, San Carlos y el Dean, cuyas colonias obtuvieron una mayor frecuencia

histórica de inundación y mayor altura de inundación para finalmente obtener los SiCI. A partir de estos resultados, se recomienda dar una mayor vigilancia o, en su caso, brindar alguna solución ante las inundaciones.

Se espera que los resultados de este estudio apoyen respuestas y planes de emergencia, y contribuyan con la cuantificación de daños, generación de sistemas de alerta y con la gestión integral del riesgo. Un área de oportunidad yace sin duda ante la valiosa sistematización de la información, como vincular las alturas de inundación al concepto de periodo de retorno, herramienta indispensable para el diseño de planes de emergencia o diseño de infraestructura hidráulica.

Finalmente, se destaca que dentro de la CMPCG y del área de Gestión Integral de Riesgos se encuentra la Oficialía de Inteligencia, la cual trabaja en la actualización del “Atlas de Riesgo” del municipio de Guadalajara, a fin de contar con una herramienta pertinente y actualizada para tomar decisiones más eficaces y planificar adecuadamente el crecimiento urbano en Guadalajara, apoyo en programas de protección civil y estudios en general. Además, dicha Oficialía realiza un monitoreo constante de fenómenos atmosféricos, geológicos y ambientales, y apoya la transición de un esquema reactivo a uno preventivo.

### **Agradecimientos**

Agradecemos a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por el apoyo a través del programa Investigadores e Investigadoras por México. Los autores agradecen a todo el personal de la Coordinación Municipal de Protección Civil de Guadalajara por la

información proporcionada para poder realizar el presente estudio. Un agradecimiento especial al Oficial Bombero Silverio Coronado Campos por crear y administrar la base de datos del inventario de inundaciones. Asimismo, agradecemos a Jocelyn Betsabé Serrano Barragán y a los revisores por los comentarios y sugerencias que han contribuido a mejorar el presente documento.

## Referencias

- Alcocer-Yamanaka, V. H., Varela, J. M. R., Bourguett-Ortiz, V. J., Llaguno-Guilberto, O. J., & Góngora, P. M. A. (2016). Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 33-55.
- Avila-Aceves, E., Rocha-Plata, W., Mojardin-Armenta, S., & Rangel-Peraza, J. (2023). Geospatial modelling of floods: A literature review. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1-20. DOI: 10.1007/s00477-023-02505-1
- Bartolomé, M. A. (2006). Pergamino, la inundación y sus versiones. *Avá. Revista de Antropología*, 9, 132-146. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1690/169014140009.pdf>
- Bulti, D. T., & Abebe, B. G. (2020). A review of flood modeling methods for urban pluvial flood application. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(3), 1293-1302. DOI: 10.1007/s40808-020-00803-z



- Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2015). *Comunicado de prensa No. 811-15. Temporada de ciclones tropicales 2015*. Ciudad de México, México: Servicio Meteorológico Nacional.
- Constantino, M., & Dávila, R. (2011). Una aproximación a la vulnerabilidad y la resiliencia ante eventos hidrometeorológicos extremos en México. *Política y Cultura*, 36, 15-44.
- Durán, J. de J. F. (2019). Guadalajara, Jalisco: vulnerabilidad a inundaciones. *Geocalli*, 20(40), 78. Recuperado de [http://www.geografia.cucsh.udg.mx/sites/default/files/geocalli\\_40\\_final\\_3.pdf](http://www.geografia.cucsh.udg.mx/sites/default/files/geocalli_40_final_3.pdf)
- Elkhrachy, I., Pham, Q. B., Costache, R., Mohajane, M., Rahman, K. U., Shahabi, H., Linh, N. T., & Anh, D. T. (2021). Sentinel-1 remote sensing data and hydrologic engineering centres river analysis system two-dimensional integration for flash flood detection and modelling in New Cairo City, Egypt. *Journal of Flood Risk Management*, 14(1):12692
- EM-DAT. (2022). *EM-DAT*. Recuperado de <http://www.emdat.be/database>
- GacetaUdeG. (2010). *Guadalajara y sus desastres*. Recuperado de <http://www.gaceta.udg.mx/Guadalajara-y-sus-desastres/>
- Gobierno GDL. (2023). *Obras Públicas - Control de Obra Pública 2023*. Recuperado de <https://enlinea.guadalajara.gob.mx/obras/obrasPublicas/listadoObras.php>

- Haer, T., Botzen, W. J. W., Van, V., Connor, H., Zavala-hidalgo, J., Eilander, D. M., & Ward, P. J. (2018). Coastal and river flood risk analyses for guiding economically optimal flood adaptation policies: A country-scale study for Mexico. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 376. DOI: 10.6084/m9.figshare.c.4060277
- Herrera, A. del C. V., & Huizar, P. C. (2005). El crecimiento urbano y las características socioeconómicas de la zona metropolitana de Guadalajara. *Carta Económica Regional*, 94(13). DOI: 10.32870/cer.v0i94.5610
- IAM, Instituto de Astronomía y Meteorología. (2023). *Climatología*. Recuperado de <http://iam.cucei.udg.mx/climatologia>
- IFRC, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. (2020). *2020 annual report*. Recuperado de [https://www.ifrc.org/sites/default/files/2021-09/20210902\\_AnnualReport\\_ONLINE.pdf](https://www.ifrc.org/sites/default/files/2021-09/20210902_AnnualReport_ONLINE.pdf)
- Kidson, R., & Richards, K. S. (2005). Flood frequency analysis: Assumptions and alternatives. *Progress in Physical Geography*, 29(3), 392-410. Recuperado de <http://ppg.sagepub.com/content/29/3/392.abstract>
- López, J., & Francés, F. (2013). Non-stationary flood frequency analysis in continental Spanish rivers, using climate and reservoir indices as external covariates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(8), 3189-3203. DOI: 10.5194/hess-17-3189-2013

- López, M., Magaña, V., & Pérez, T. (2022). Riesgo de inundaciones urbanas repentinas en la Zona Metropolitana de Guadalajara, México. *Investigaciones Geográficas*, (108), 21. DOI: 10.14350/rig.60547
- Maranzoni, A., Dória, M., & Rizzo, C. (2023). Quantitative flood hazard assessment methods: A review. *Journal of Flood Risk Management*, 16(1). DOI: 10.1111/jfr3.12855
- Merz, B., Dottori, F., Aerts, J. C. J. H., Bates, P., Bertola, M., & Kemter, M. (2019). Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. *Earth & Environment*, 2, 592-609. DOI: 10.1038/s43017-021-00195-3
- Mishra, A., Mukherjee, S., Merz, B., Singh, V. P., Wright, D. B., Villarini, G., Paul, S., Kumar, N., Khedun, C. P., Niyogi, D., Schumann, G., & Stedinger, J. R. (2022). An overview of flood concepts, challenges, and future directions. *Journal of Hydrologic Engineering*, 27(6). DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002164
- Ocampo, O. L., & Vélez-Upegui, J. J. (2014). Análisis comparativo de modelos hidrológicos de simulación continua en cuencas de alta montaña: caso del río Chinchiná. *Revista de Ingeniería. Universidad de Medellín*, 13(24), 43-58.
- ONU, Organización de las Naciones Unidas. (2021). *ONU-Habitat - Sequías, tormentas e inundaciones: el agua y el cambio climático dominan la lista de desastres*. Recuperado de <https://onuhabitat.org.mx/index.php/sequias-tormentas-e-inundaciones-el-agua-y-el-cambio-climatico-dominan-la-lista-de-desastres>

- Ornelas, L. V., Castillo, M. del R., & Salazar, A. (2005). Las inundaciones en la zona metropolitana de Guadalajara. *Carta Económica Regional*, 9. DOI: 10.32870/cer.v0i91.5633
- Ortiz, E. (2023). *Un temporal más, y detectan ocho nuevos puntos de inundación; tres de ellos, de alta prioridad*. Recuperado de <https://udgtv.com/noticias/un-temporal-mas-y-detectan-ocho-nuevos-puntos-de-inundacion-tres-de-ellos-de-alta-prioridad/66989>
- Pistrika, A., Tsakiris, G., & Nalbantis, I. (2014). Flood depth-damage functions for built environment. *Environmental Processes*, 1(4), 553-572. DOI: 10.1007/s40710-014-0038-2
- Salas, M., & Jiménez, P. (2014). *Inundaciones. Serie de Fascículos* (Versión el). México, DF, México, CENAPRED.
- Salazar, A. G., Juárez, A., & Ramírez, L. L. (2008). *Curvas de intensidad, duración y periodo de retorno como herramienta de análisis*. Recuperado de <http://sincronia.cucsh.udg.mx/salazar.htm>
- Salazar, S. (2013). *Metodología para el análisis y la reducción del riesgo de inundaciones: aplicación en la rambla del pollo (Valencia) usando medidas de "Retención de agua en el territorio"*. València, España: Universitat Politècnica de València.
- Sedatu, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2016). *Términos de referencia para la elaboración de atlas de peligros y/o riesgos* 2016. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/135433/TR\\_AR\\_231016\\_Pu\\_blico.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/135433/TR_AR_231016_Pu_blico.pdf)

- Shaleen, J., & Lall, U. (2001). Floods in a changing climate: Does the past represent the future? *Water Resources Research*, 37(12):3193-3205. DOI: 10.1029/2001WR000495
- SMN, Servicio Meteorológico Nacional. (2023). *Información histórica*. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/ciclones-tropicales/informacion-historica>
- Torres, I. X., Franco, D., Souza, D., & Lattuada, M. F. (2019). *Resistir a las inundaciones: afectaciones y estragos de "las lluvias" en la Zona Metropolitana de Guadalajara*. Recuperado de <https://www.zonadocs.mx/2019/07/30/resistir-a-las-inundaciones-afectaciones-y-estragos-de-las-lluvias-en-la-zona-metropolitana-de-guadalajara/>
- Vidrio-Sahagún, C. T., & He, J. (2021). Flood hazard estimation under nonstationarity using the particle filter. *Geosciences*, 11(1), 13. DOI: 10.3390/geosciences11010013
- Villarini, G., Smith, J. A., Serinaldi, F., Ntelekos, A. A., & Schwarz, U. (2012). Analyses of extreme flooding in Austria over the period 1951-2006. *International Journal of Climatology*, 32(8), 1178-1192. DOI: 10.1002/joc.2331
- Vojtek, M., Vojteková, J., & Pham, Q. B. (2021). GIS-based spatial and multi-criteria assessment of riverine flood potential: A case study of the Nitra River Basin, Slovakia. *International Journal of Geo-Information*, 10(9), 578. DOI: 10.3390/ijgi10090578