

Simulación del nivel de agua para escenarios de inundación. Aplicación a Luján (Buenos Aires, Argentina).



Simulation of water level for flood scenarios: application to Luján (Buenos Aires, Argentina).

Principi, Noelia Cecilia

Noelia Cecilia Principi nprincipi@unlu.edu.ar
Instituto de Investigaciones Geográficas,
Universidad Nacional de Luján, Argentina

Boletín Geográfico

Universidad Nacional del Comahue, Argentina

ISSN: 0326-1735

ISSN-e: 2313-903X

Periodicidad: Semestral

vol. 45, 2023

boletingeografico@gmail.com

Recepción: 21 Febrero 2023

Aprobación: 16 Junio 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/344/3444296001/>

Boletín Geográfico.



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

Resumen: Las inundaciones en áreas de llanura se presentan como una problemática recurrente en gran cantidad de ciudades. Tal es el caso de Luján, una ciudad de tamaño intermedio, cuyo origen y expansión se produce a orillas del río homónimo, en plena región pampeana, en la provincia de Buenos Aires (Argentina).

El objetivo principal del trabajo es realizar un acercamiento a la distribución espacial de las inundaciones en Luján a partir de la generación de escenarios posibles, considerando datos históricos de eventos de inundación en la ciudad y utilizando como insumo principal un Modelo de Elevación Digital Aerofotogramétrico de alta precisión, puesto a disposición por el Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina. A través de un procedimiento de simulación de nivel de agua es posible representar la expansión de la mancha de inundación, considerando específicamente el nivel focal espacial. Esto permite generar diferentes escenarios de amenaza al representar la superficie susceptible de sufrir inundaciones cuando el río aumenta su nivel de agua en diferentes medidas.

Se presenta una descripción del área de estudio, aspectos conceptuales para el abordaje de la temática de inundaciones urbanas y sus principales factores desencadenantes, un breve recorrido histórico sobre las inundaciones en Luján, aspectos metodológicos para realizar la simulación del nivel de agua y los resultados, que incluyen dos escenarios de inundación y, posteriormente, su asociación con un mapa de vulnerabilidad socioeconómica de la población.

Los resultados permitieron reconocer áreas urbanas donde la amenaza está presente, afectando una superficie aproximada de 6 km. que incluye desde barrios céntricos con vulnerabilidad baja, hasta barrios periféricos de incorporación reciente al ejido urbano y con niveles de vulnerabilidad altos.

La generación de este tipo de resultados resulta indispensable para poder detectar zonas y elementos que se encuentran expuestos a esta amenaza y, al poder asociarlos con datos de vulnerabilidad, la cartografía se constituye como una herramienta analítica que permite diagnosticar la situación actual respecto al riesgo a inundaciones en la ciudad y de esta forma poder orientar la toma de decisiones espaciales en pos de mejorar la calidad de vida de la población.

Palabras clave: Inundaciones urbanas, Simulación de nivel agua, Escenarios de amenaza, Ciudad de Luján.

Abstract: Floods in flat areas are recurring problems in several cities worldwide. Luján is one such city, of intermediate size, situated on the banks of the Luján River in the heart of the Pampas region, in the province of Buenos Aires, Argentina. The main objective of this study is to carry out an approach to the spatial distribution of floods in Luján considering various scenarios. One scenario is derived from historical data of flood events in the city while the other uses a high-resolution Aerophotogrammetric Digital Elevation Model, provided by the National Geographic Institute of Argentina as main input. Through a water level simulation procedure, it is possible to represent the expansion of the flood patch, specifically considering the spatial focal level. This allows the generation of different threat scenarios by depicting the susceptible surface area to flooding at different levels of river water rise.

The paper provides a description of the study area, discusses conceptual aspects related to urban flooding and its main triggering factors, presents a brief history of flooding in Luján, outlines the methodological aspects of simulating the water level, and presents the results. These results include two flood scenarios and their association with a socioeconomic vulnerability map.

The findings have helped to recognize urban areas where the threat is present, affecting an approximate area of 6 km². This area ranges from central neighborhoods with low vulnerability, to peripheral neighborhoods recently incorporated into the urban space and with high levels of vulnerability.

The generation of such results is crucial for identifying areas and elements exposed to flood risks and associating them with vulnerability data, Cartography serves as an analytical tool for assessing the current flood risk situation in the city, enabling spatial decision-making to improve the quality of life for the population..

Keywords: Urban floods, Water level simulation, Hazard scenarios, Luján city.

Introducción

En Argentina, el proceso de urbanización se dio de forma temprana y acelerada respecto al resto de países latinoamericanos (Velázquez, 2008). Según datos de la Comisión Económica para América Latina de Naciones Unidas (CEPAL, 2018), para el 2020 el 92% de la población argentina se asentaba en áreas urbanas posicionándose como uno de los países más urbanizados del mundo, superando la media de Europa 75%, Estados Unidos 82,2% y Latinoamericana 83%. El aumento acelerado de la urbanización, sobre todo en ciudades de tamaño intermedio, que son las más dinámicas del Sistema Urbano Argentino (Linares, Di Nucci & Velázquez, 2016), propició el surgimiento de diferentes problemáticas socio-espaciales vinculadas principalmente a la falta de planificación. Entre estas, aparece el tema de las inundaciones urbanas por alteración de las dinámicas de cuencas hidrográficas y deficiencias en los sistemas

de drenaje urbano, situación que se agrava aún más si se trata de ciudades que ya se encuentran emplazadas en áreas con amenazas de origen natural vinculadas a las inundaciones, como zonas costeras o ribereñas. Tal es el caso de Luján, ciudad objeto de estudio de este trabajo, cuyo origen histórico y expansión se da a orillas de un río típico de llanura con un amplio valle de inundación que cada vez está más habitado sufriendo recurrentes inundaciones urbanas.

Desde el 1 de noviembre de 2019, está en vigencia en el partido de Luján el Código de Ordenamiento Urbano (COU)^[2] que es un instrumento normativo del Plan de Desarrollo Urbanístico del partido, cuya Autoridad de Aplicación (AA) es la Secretaría de Infraestructura, Obras y Servicios Públicos de la Municipalidad de Luján, específicamente la Dirección de Planeamiento. El COU define cuatro ejes estratégicos pero en ninguno se menciona explícitamente la problemática de las inundaciones como aspecto prioritario a considerar. En el apartado 4.3 del COU se determina que la AA podrá negar o condicionar la autorización para el fraccionamiento urbano cuando se trate de una zona inundable o insalubre para la vivienda, pero no se brindan especificaciones respecto a cómo se determinarán tales zonas. Retomando específicamente este tema, en agosto del 2022, la Asociación Civil “Inundados de Luján” presentó un proyecto de ordenanza en el Concejo Deliberante del municipio donde proponen establecer un área de protección de humedales y restricción hídrica para mitigar los efectos negativos de las crecidas del río Luján. El objetivo principal es establecer los parámetros para regular las construcciones que pueden modificar humedales y márgenes del río, considerando que la restricción sea el equivalente a la inundación más importante que tuvo Luján, que fue la de 1985 (Espínola, 2022).

Por otra parte, cabe destacar que en 2015 se creó el Comité de Cuenca del Río Luján (COMILU), a partir de la sanción de la Ley de creación 14.710, en Cámara de Senadores de la Provincia de Buenos Aires. El Comité está cargo de un directorio con un presidente designado por el Poder Ejecutivo Provincial, tres directores designados por el Poder Ejecutivo Provincial y tres directores designados por los Municipios. Tiene como objetivo la realización de acciones tendientes a preservar el recurso hídrico y a gestionar el mismo de manera integrada y sostenible y está facultado para planificar, coordinar, ejecutar y controlar un Plan de Gestión Integral y también para realizar la administración integral de la cuenca.

Actualmente, se está ejecutando el Proyecto de Implementación del Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Río Luján (Etapa I y II)^[3] financiado por el Banco de Desarrollo de América Latina que tiene como objetivo principal prevenir las crecidas, manejar controladamente los caudales y moderar el efecto de las inundaciones en la cuenca. El Plan incluye medidas infraestructurales importantes como obras de remplazo o ampliación de puentes, conducción o ampliación del cauce y retención de aguas y remplazo de compuertas. Hasta el momento no se ha avanzado en obras en la ciudad de Luján.

Respecto a estudios previos sobre inundaciones en la cuenca del río Luján, Reyna, Spalletti y Brea (2007), especialistas en hidráulica, consideraron el riesgo hídrico a partir de la implementación un modelo hidrodinámico que les permitió identificar zonas con peligro de inundación en la cuenca con diferentes

períodos de recurrencia (2, 5 y 100 años), también Sánchez Caro y Bianchi (2014) presentan una modelación hidrológica a paso diario de la cuenca del río Luján, generando una serie de caudales simulados en la sección del Puente Jáuregui de la cuenca para el periodo 1988-2013. Se destacan dos estudios recientes, uno de Flores, Giordano y Ruggerio (2021) donde analizan el riesgo de inundación en la cuenca alta y media del río Luján a partir de una modelización hidrológica asociándolo con el proceso de urbanización reciente que les permitió calcular el aumento de las superficies impermeables en el área. Los resultados no permitieron evidenciar un cambio importante en el régimen hidrológico en el periodo estudiado (1985-2015) que pueda asociarse directamente al aumento de inundaciones pero el estudio revela que el aumento de la superficie impermeabilizada por urbanización coincide con una fase seca (2005-2012) con lo que debería servir el dato como advertencia para los tomadores de decisión a fin de evitar la ocupación de áreas inundables. Por su parte, Molero, Pereyra y Marcomini (2021) realizan un análisis de las inundaciones en la cuenca superior y media del río Luján a partir de una caracterización geológica, geomorfológica, edáfica e hidrológica, como resultado realizan un mapa de susceptibilidad al peligro de inundaciones, a partir de la definición de tres grados: alto para los sectores de cotas menores a 15,0 m, medio a los sectores de cotas entre 15,0 y 20,0 m y bajo a aquellos áreas por encima de los 20,0 m de cota.

Durante la última gran inundación de Luján, en agosto de 2015, el personal municipal de la Subdirección de Emergencia y Defensa Civil realizó un relevamiento y levantamiento de datos in situ sobre las áreas inundadas en el caso urbano para cartografiarlas y contrastarlas con datos de población del Censo 2010 y con la base de datos catastral, ya que el objetivo era determinar qué parcelas habían sido afectadas para obtener información acerca de quienes estarían eximidos del pago del impuesto inmobiliario (Subdirección de Emergencia y Defensa Civil, 2017). Esta información, publicada en un informe, es la más actualizada que posee el municipio respecto a las inundaciones en la ciudad. Además, se observa que la mancha de inundación real del 2015 abarca una extensión más amplia que las modelizadas por los trabajos anteriores, incluso si consideramos el período de recurrencia de 100 años. Lo que se presenta en este trabajo, no es un modelo hidrológico sino un procedimiento metodológico sencillo de simulación de nivel de agua a partir de un Modelo de Elevación Digital Aerofotogramétrico de alta precisión (5x5 metros) para generar diferentes escenarios de amenaza, considerando para las simulaciones datos históricos de inundaciones en Luján. Existen antecedentes recientes de aplicación de este tipo de procedimientos en diferentes partes del mundo. Se destaca el trabajo de Fandé, Lira y Penha-Lopes (2022) donde utilizan un modelo de elevación global de alta resolución para la simulación de inundaciones costeras en tres áreas de Guinea-Bissau (África), aplicando lo que denominan como modelo “bañera” que implica simular aumentos del nivel del mar para identificar áreas con potencialidad de inundarse en diferentes escenarios de aumentos de nivel del agua. Se definieron cuatro escenarios diferentes para los años 2041, 2083 y 2100, para cada área, considerando para estimar el nivel de inundación, un valor global que incluye datos de marea astronómica, marejada ciclónica y aumento de nivel del mar conocidos. Los resultados de las simulaciones los asociaron con mapas de coberturas de suelo para determinar qué tipo de cobertura serían afectadas en

los diferentes escenarios. Por su parte, Distéfano *et al.* (2022) realizan mapa de inundaciones 3D para eventos de tsunami en el canal de Sicilia Central (sur de Italia), aplicando en su estudio el simulador de nivel de agua de Global Mapper con un Modelo de Elevación Digital de alta resolución (2x2 m) para generar escenarios con diferentes alturas: 5,0 m , 10,0 m y 15,0 m según datos históricos de tsunamis en el área. Este procedimiento de simulación, que se replicará en el presente trabajo, permite observar hasta dónde llegaría el agua teniendo en cuenta cualquier característica del terreno que impida el flujo de agua, como diques o edificios.

Área de estudio: ciudad de Luján

Luján es una aglomeración de tamaño intermedio de la República Argentina, cabecera del partido homónimo, en el noreste de la provincia de Buenos Aires, (Figura 1). De acuerdo al Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas del año 2010 (INDEC, 2013) el partido contaba con 106.273 habitantes (hab.), de los cuales, un 73,7% (78.346 hab.) residían en la ciudad de Luján. Los datos provisorios del censo 2022 (INDEC, 2023) indican que el partido tuvo una variación intercensal relativa del 4,8%, aumentando su población a 111.365 hab. Siguiendo la tendencia de radicación mayoritaria de la población en la localidad cabecera, se puede estimar que la ciudad de Luján cuenta actualmente con aproximadamente 82.076 hab.

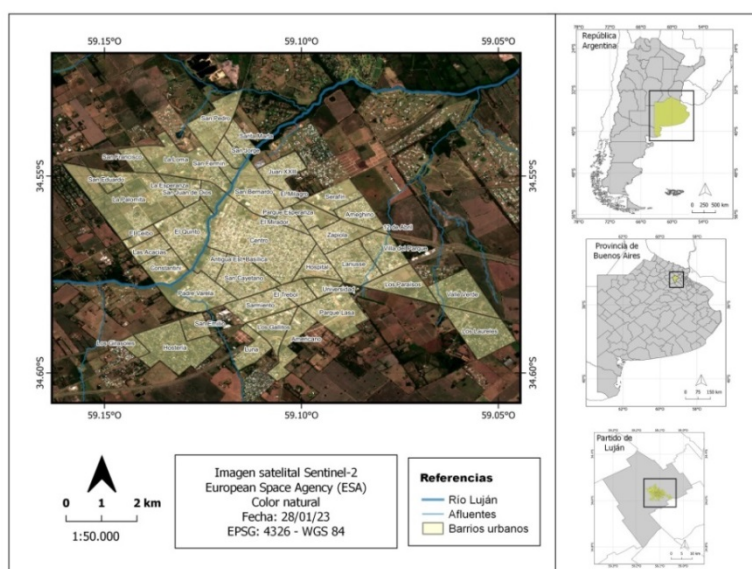


Figura 1.

Ubicación e imagen satelital de la Ciudad de Luján Buenos Aires Argentina.

Elaboración propia sobre la base de imagen satelital Sentinel-2 (ESA, España)

Respecto a su localización relativa, Luján, se encuentra a 68,0 km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) y forma parte de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) que incluye a la CABA y 40 partidos de Provincia de Buenos Aires (DPOUyT, 2007).

El origen de la ciudad se remonta a fines del siglo XVII, a orillas del río Luján, un río de llanura que sufre recurrentes desbordes por cuestiones principalmente

pluviométricas generando inundaciones urbanas tanto en áreas centrales como periféricas. Realiza su recorrido total por la planicie ondulada de la región pampeana, nace en la confluencia de la Cañada de Castilla, la Cañada de Rivas y el arroyo Los Leones, atravesando territorios de los partidos bonaerenses de Carmen de Areco, Chacabuco y Suipacha. Se extiende por 115,0 kilómetros hasta su desembocadura en el delta del Paraná, y luego 42,0 km más en dirección noroeste-sudeste hasta su desagüe en el río de la Plata (Paso Viola, 2016; Buzai, Lanzelotti, Paso Viola & Principi, 2018).

El río le da nombre a la cuenca hidrográfica que tiene 3778 km., y se posiciona como la de mayor superficie en la RMBA (Lanzelotti & Buzai, 2015). El relieve de la cuenca es marcadamente llano, con una suave pendiente que disminuye de oeste a este. Esto se observa desde lo altimétrico, ya que las cotas de las curvas del nivel o isohipsas del área tienen poca variación, sin superar los 60,0 m en el sector de la cuenca superior. Desde lo geomorfológico, la cuenca se encuentra dentro de la llanura pampeana, drenando al occidente la subregión de la pampa ondulada y al oriente la subregión del Delta (Gil & Principi, 2019).

La pampa ondulada, denominada así por el geógrafo Daus (1959), debido a las ondulaciones topográficas, puede ubicarse en la superficie que se encuentra entre el curso de los ríos Paraná, río de La Plata y río Salado en la Provincia de Buenos Aires, limitando al norte con la Provincia de Santa Fe y al sudoeste con la subregión de la Pampa Arenosa. Esta subregión es la que predomina en la cuenca del río Lujan.

El clima de la cuenca es templado subhúmedo, con un régimen de precipitaciones mediterráneo, con lluvias que oscilan alrededor de los 950 mm anuales. La distribución de las precipitaciones es heterogénea tanto temporal como espacialmente. A lo largo del año, presenta máximos de 1300 a 1400 mm en otoño y primavera, y mínimos de 600 mm en el invierno, disminuyendo de Este a Oeste (Lucioni & Andrade, 2015; Andrade, 1986)

La ciudad de Luján se encuentra en la cuenca media, que tiene una red de drenaje bien integrada, presenta gran cantidad de meandros, con mucha sinuosidad (Figura 2), aquí, el río escurre en una amplia planicie de la cuenca que desemboca en el Río de la Plata.

Inundaciones urbanas: conceptos centrales y factores desencadenantes

Ferrando (2006) define inundación como una masa de agua que sale de su cauce temporalmente y provoca un desequilibrio entre el volumen hídrico a evacuar y la capacidad de evacuación de los sistemas de drenaje. A diferencia del anegamiento, que lo asocia a la acumulación temporal de aguas lluvias en una determinada porción de territorio. Cuando se conjugan ambos, situación bastante frecuente en áreas de llanura, el impacto y las consecuencias socioambientales aumentan.

La recurrencia de inundaciones y/o anegamientos en áreas urbanas responde a diferentes factores de origen natural como la topografía del terreno, el régimen de precipitaciones, la presencia de suelos con baja permeabilidad, entre otros; y/o factores antropogénicos vinculados a la pérdida de capacidad para captar y almacenar agua de lluvia, aumento de la superficie construida como viviendas, vías de comunicación, etc. lo que se traduce en una pérdida de permeabilidad o

infiltración del agua, apertura de canales que drenan el agua de forma más rápida al cauce principal, etc. (Bertoni, 2004).

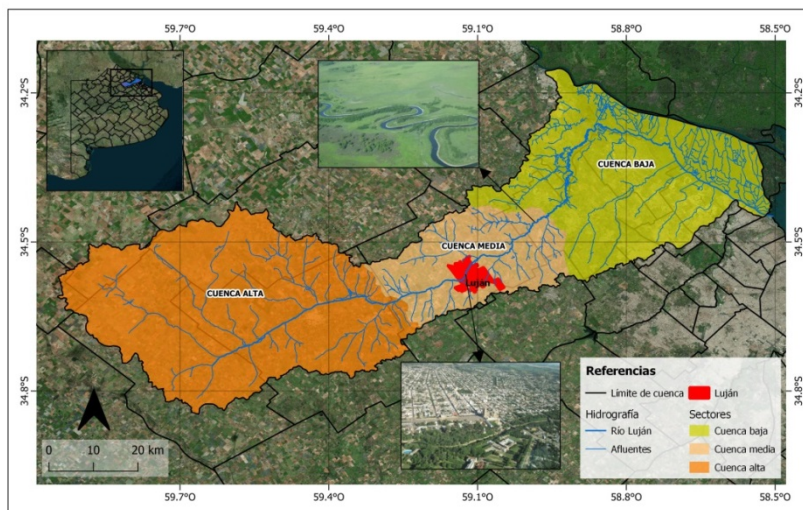


Figura 2.

Localización de la ciudad de Luján en la cuenca hidrográfica del río Luján.

Elaboración propia sobre la base de imagen satelital Sentinel-2 (ESA, España)

Es claro que ante un período de precipitaciones más intensas que lo normal el nivel de un curso de agua se incrementa y puede ocasionar inundaciones. Aunque estas últimas también se pueden dar por crecidas naturales del río, principalmente en períodos húmedos. Por su parte, cuando se trata de ríos de llanura en climas húmedos, como el caso del río Luján, estos tienen un extenso valle de inundación natural, es decir, una franja de tierras bajas y llanas en ambos márgenes que son inundados de forma recurrente ante las crecidas o precipitaciones abundantes. Estos procesos que se dan de forma natural se complejizan cuando se trata de áreas urbanas dinámicas que, muchas veces, avanzan sobre áreas bajas inundables o, incluso, los cauces naturales de los ríos.

Estudios sobre distribución y variabilidad de la precipitación en la región pampeana, en el período 1960-2018, evidencian una tendencia de aumento de las lluvias fuertes, muy fuertes y torrenciales en períodos cortos de tiempo. Esto indica que, prospectivamente, este tipo de eventos pluviométricos tendrán mayor frecuencia e intensidad en el área de estudio (Ferrelli, Brendel, Piccolo & Perillo, 2021; Aliaga, Ferrelli, Alberdi-Algarañaz, Bohn, & Piccolo, 2016) y podrían aumentar los eventos de inundaciones.

Respecto específicamente al tema de las inundaciones en las áreas urbanas, Sthraler y Sthraler (1989) hacen referencia a dos formas de alteración de las dinámicas de las cuencas hidrográficas vinculados al proceso de urbanización. Por un lado, el aumento de la superficie impermeable a la filtración debido a las diferentes construcciones propias del espacio urbano como las viviendas, veredas, asfalto, etc. A medida que aumenta la proporción de superficie construida se reduce la infiltración y aumenta el agua de escorrentía, es decir, el agua que no logra infiltrarse comienza a circular de forma superficial. Esto a su vez aumenta de forma más acelerada la altura del nivel de agua, ya que toda esa

agua llega directa y rápidamente al cauce. Por otro lado, se menciona el tema del alcantarillado urbano que permite que el agua circule de forma subterránea y desagüe en un canal, afluente o cauce principal. Esto acorta el tiempo de escorrentía hasta que a su vez incluye una cantidad de agua mayor debido al proceso de impermeabilización antes mencionado.

Otra cuestión a resaltar es la expansión de la población hacia áreas suburbanas o de transición entre lo urbano y lo rural, proceso que se da en la ciudad bajo estudio, en zonas que muchas veces no cuentan con servicios urbanos básicos y que presentan una topografía no apta para el desarrollo urbano. Cuando la densidad de construcción es baja, la situación se torna manejable pero a medida que esas áreas se empiezan a densificar empiezan a surgir problemas que están directamente asociados a los cambios en los usos del suelo. La limitada planificación territorial e inversión en obras de infraestructura necesarias, se traducen en nuevas áreas urbanizadas expuestas al peligro de inundación por cercanía a cursos de agua o por problemas en el drenaje. Esto, afecta no sólo el nuevo lugar urbanizado sino que puede generar nuevos problemas adicionales aguas abajo, ya que el funcionamiento de la cuenca hidrográfica es sistémico.

Recorrido histórico sobre inundaciones en Luján.

La problemática de las inundaciones es de larga data en la ciudad. Haas (1995) realizó un análisis de documentos históricos (actas capitulares del Cabildo de la Villa de Luján y documentos del Juzgado de Paz), como así también consulta de información periodística de medios locales y encontró registros desde el siglo XIX que le permitieron evidenciar la recurrencia de las inundaciones. El autor presenta un resultado cartográfico básico (Figura 3) donde se identifican sectores inundables de la ciudad, que según refiere abarcaba una superficie aproximada de 6,1 km. y afectaba a 6300 personas.

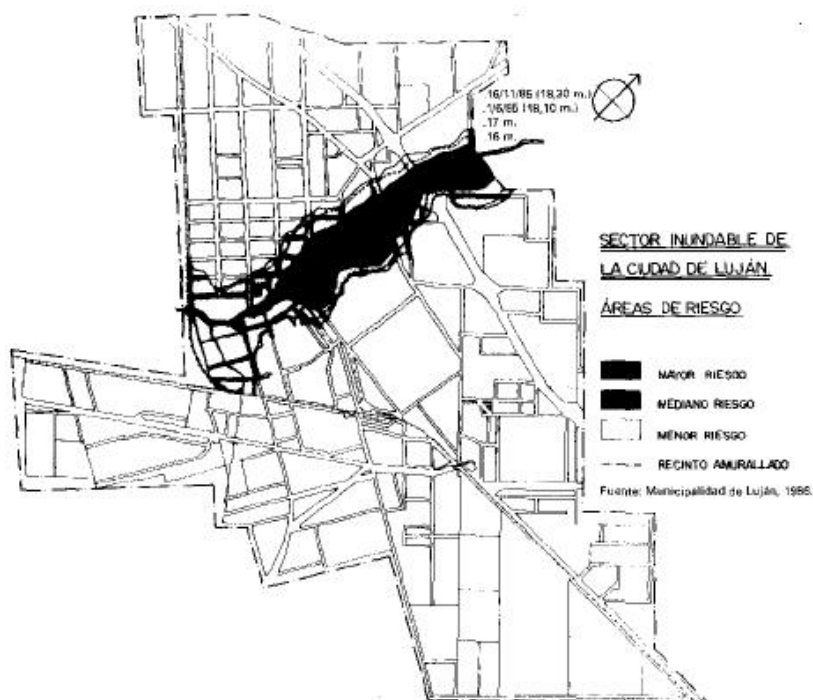


Figura 3.
Sector inundable de la ciudad de Luján.
Haas (1995)

A pesar de que en la simbología del resultado cartográfico se presentan “niveles de riesgo” y que en el trabajo se explicita que se consideraron las áreas con mayor riesgo hasta los 16 m, considerando para esto las cotas del IGN, entre 16,0 y 17,0 m como riesgo medio y las áreas ubicadas en cotas mayores a 17,0 m como las de menor riesgo, es importante destacar que en realidad el mapa presenta una caracterización de la amenaza de origen natural, presentando el área con peligro a inundación. La profundidad normal del río es entre 1,5 metros y 2,0 metros, cuando la altura supera los 3,0 m ya se producen inundaciones urbanas.

El periódico local *El Civismo* realizó en 2012 una completa recopilación de datos sobre inundaciones en la ciudad de Luján, desde la década del '60. (*El Civismo*, 2012).

En 1964 la ciudad sufrió una gran inundación que se originó a partir de la caída de 232 mm en tres días. La altura del río en esa oportunidad alcanzó los 5,80 metros (*El Civismo*, 2012).

En la década de 1980 hubo varios eventos de inundaciones, los más importantes fueron en 1985, en los meses de mayo y noviembre, la altura del río fue de 6,25 y 6,40 m respectivamente. En octubre de 1986 hubo una nueva inundación, en la cual el río alcanzó los 4,79 m como consecuencia de la abundante lluvia de 213 mm, 108 mm en un día (*El Civismo*, 2012).

La década de 1990 también estuvo colmada de inundaciones urbanas en Luján. En 1991 hubo una inundación menor y en noviembre de 1993 otra gran inundación. El río creció 0,2 m/h (20,0 cm/h), alcanzando rápidamente 5,25 m de altura. En abril de 1995, las aguas alcanzaron un nivel máximo de 4,16 m (*El Civismo*, 2012).

A comienzo del siglo XXI la tendencia se mantuvo. En el año 2000, hubo una inundación de 3,95 m, alcanzados a un ritmo de 0,03 m/h (3,0 cm/h) y en 2001, el río creció hasta los 4,42 m. En febrero de 2003 el río alcanzó los 4,04 m y en enero de 2006, tras la caída de 117 mm, Luján sufrió una nueva inundación donde el río llegó a los 4,36 m (El Civismo, 2012).

En octubre del 2012 Luján vuelve a ser noticia por otra inundación urbana importante (Figura 4). En esta ocasión, el río alcanzó los 5,12 m. El 2014 fue un año repleto de inundaciones, en total fueron doce y dos superaron los 5,0 m. La altura más alta llegó a los 5,32 m (El Civismo, 2015).

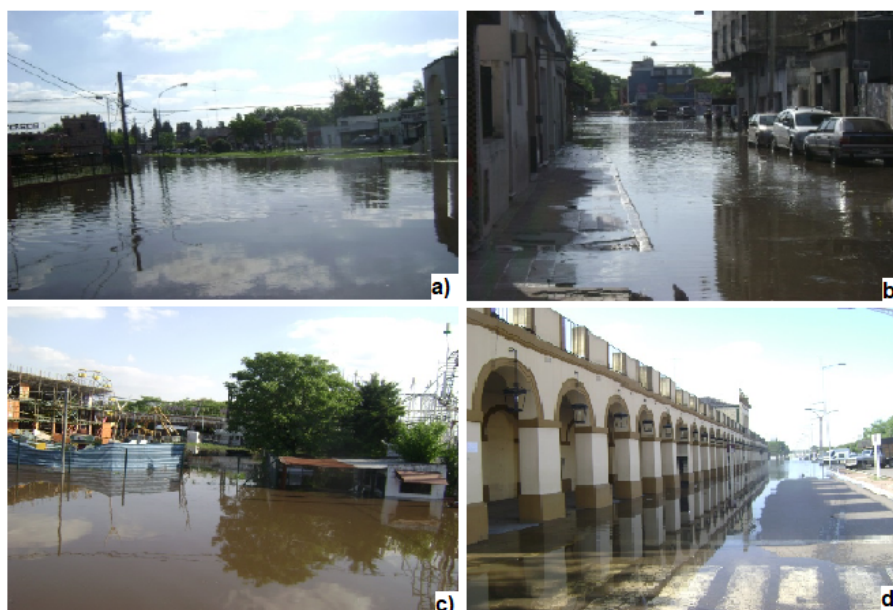


Figura 4.
Barrios céntricos de Luján en la inundación de octubre del 2012.
Fotografías propias, octubre de 2012.

En febrero y abril de 2015, el río volvió a crecer producto de fuertes lluvias, muchos barrios sufrieron anegamientos consecuencia de falta de mantenimiento de los sistemas de desagües o directamente su inexistencia. Entre el 7 y 11 de agosto del mismo año se registró una de las mayores inundaciones registradas, luego de la 1967 y 1985. El río alcanzó los 5,47 m luego de precipitaciones extraordinarias de 400 mm ocurridas entre el 7 y el 11 de agosto (El Civismo, 2015). Fue al finalizar este evento que el personal municipal de la Subdirección de Emergencia y Defensa Civil realizó el relevamiento y levantamiento de datos *in situ* sobre las áreas inundadas (Figura 5).

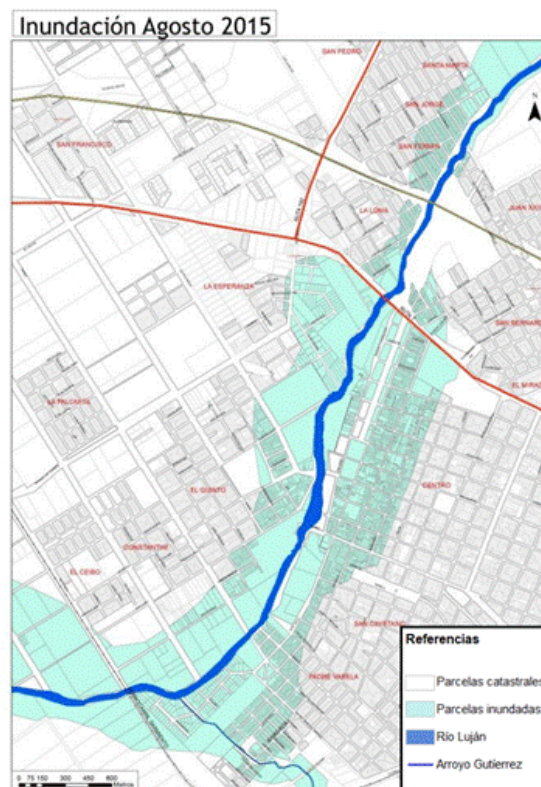


Figura 5.
Parcelas urbanas inundadas en agosto 2015 Casco céntrico de Luján.
Subdirección de Emergencia y Defensa Civil (2017)

Esta es la información más actualizada respecto a la mancha de inundación en el casco céntrico de ciudad. Finalmente, en 2018 y 2019 se registraron los últimos desbordes del río Luján que superaron los 3,0 m de altura.

Existe una base de datos histórica (Tabla 1), elaborada por los Bomberos Voluntarios de Luján, con información sobre la altura del río y la elevación o cota del IGN obtenida a través de un hidrómetro ubicado en el puente de la intersección del río y la calle San Martín, en el centro de la ciudad. En la Tabla 1 se resaltan los eventos de mayor magnitud. Esta información es relevante porque constituyen datos de referencia para realizar la simulación de nivel de agua.

Tabla 1.
Datos históricos de altura del río Luján en la ciudad homónima.

Fecha	Altura hidrómetro (m)	Altura elevación (m, IGN)	Fecha	Altura hidrómetro (m)	Altura elevación (m, IGN)
10/1967	5,80	17,40	17/08/2001	3,07	14,67
09/1982	3,90	15,50	17/04/2002	3,45	15,05
03/1984	4,84	16,44	17/05/2002	2,50	14,10
31/10/1984	4,41	16,01	01/02/2003	4,04	15,64
31/05/1985	6,25	17,85	11/02/2003	2,48	14,08
19/10/1985	3,80	15,40	01/03/2007	3,43	15,03
16/11/1985	6,40	18,00	15/08/2012	3,05	14,65
06/10/1986	4,80	16,40	18/08/2012	4,00	15,60
29/10/1986	2,99	14,59	23/10/2012	3,49	15,09
23/03/1988	5,52	17,12	01/11/2012	5,12	16,72
25/03/1991	3,68	15,28	28/11/2013	2,72	14,32
27/11/1993	5,23	16,83	07/02/2014	4,59	16,19
06/02/1995	2,99	14,59	11/04/2014	4,37	15,97
08/04/1995	4,16	15,76	24/05/2014	3,68	15,28
06/02/1999	3,12	14,72	30/11/2014	5,32	16,92
18/05/2000	3,95	15,55	04/10/2014	5,15	16,75
03/03/2001	4,42	16,02	12/08/2015	5,43	17,03
25/03/2001	3,26	14,86	16/09/2018	3,60	15,20
			14/10/2019	3,34	14,94

Asociación de Bomberos Voluntarios de Luján

Metodología

Para realizar el procedimiento de simulación de nivel de agua, se utiliza un módulo específico del Sistema de Información Geográfica (SIG) *Global Mapper*[4] denominado “*Simulate Water Level Rise/Flooding*” que permite realizar la simulación desde una elevación única y fija y/o desde un cierto valor de altura de un área seleccionada. La información de base necesaria para aplicar el procedimiento es un Modelo de Elevación Digital (MDE) asociado espacialmente a dos capas temáticas digitales en formato vectorial, una correspondiente a la digitalización del río Luján y otra a los afluentes, ambas en formato de polígonos. Se digitalizan por separado para poder aplicar diferentes niveles de altura a cada una, considerando que el crecimiento de los afluentes es menor al drenar sus aguas hacia el curso principal.

Se utilizó un MDE aerofotogramétrico de 5,0 m de precisión, del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2017), que corresponde a un relevamiento de toda el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) en el año 2013[5]. Se extrajo, a través un mosaico de ortofotos, el área correspondiente a la ciudad de Luján. En la Figura 6 se muestra el extracto del MDE al sector urbano de Luján, con los límites de barrios, la hidrografía y la ubicación del hidrómetro de los Bomberos Voluntarios (Figura 6).

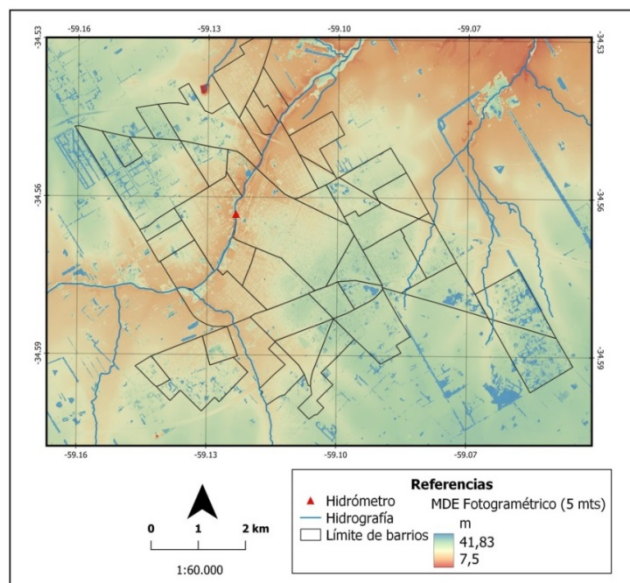


Figura 6

Extracto del MDE Aerofotogramétrico Ciudad de Luján.

Elaboración propia con datos del IGN (2017)

Las definiciones preliminares del software permiten indicar la cantidad de nivel del agua a elevar y desde qué sector. De esta forma, se fueron simulando diferentes niveles de aumento de agua a partir de datos reales históricos de inundaciones y teniendo como referencia reciente la mancha de inundación del 2015, cartografiada por el municipio de Luján. Se realizó el aumento de nivel de agua considerando la altura del MDE en el sector del río donde se localiza el hidrómetro de los Bomberos Voluntarios de Luján.

Una vez explicitadas las definiciones se aplica el procedimiento que incluye la búsqueda de las celdas que estén por debajo de la elevación especificada (en este caso metros) y que estén conectadas espacialmente con el mapa correspondiente a la digitalización de los cursos de agua, desestimando las celdas que presenten valor nulo. Se trata de simulaciones visuales, a nivel espacial, según el MDE que considera la morfología urbana.

La simulación de nivel de agua permite evaluar la expansión superficial del agua, ante diferentes niveles de crecidas de los cursos de agua de forma de poder caracterizar la amenaza de inundación en un área de llanura. A partir de la asociación entre el MDE y los cursos de agua digitalizados, se toma el valor de altura y se puede simular el aumento del nivel del agua en cierta cantidad de centímetros o metros y visualizar espacialmente hasta dónde llegaría el agua. De esta forma es posible simular cómo se expandiría al área de inundación cuando se incrementa en cierta profundidad el nivel del río, teniendo en cuenta las características del terreno que impiden un flujo del agua normal, como calles, casas, edificios, etc., específicamente en el nivel focal espacial, que es el que se aborda en este trabajo. Esto permite generar diferentes escenarios potenciales de inundación y observar qué sucede con la superficie susceptible de sufrir inundaciones.

Resultados y Discusión

Se modelizó una inundación de características similares a la última gran inundación de agosto del 2015, que alcanzó los 17,03 m de elevación según la cota del IGN. En el SIG esta consideración supuso aumentar en 2,0 m el nivel del agua, ya que en ese sector del río el MDE arroja una altura de 15,0 m.

También se consideró un *escenario 2*, de mayor envergadura con un nivel de agua 0,5 m mayor, de 2,5 m. Esta segunda simulación considera como referencia la mayor inundación histórica de la que se tienen datos en Luján, acontecida en noviembre de 1985. Para el caso de los afluentes se realizó la modelización con un aumento de 0,5 m para el *escenario 1* y 1,0 m para el *escenario 2*.

De esta forma, se contempla un *escenario 1* (Figura 7) que corresponde a dimensión de las últimas grandes inundaciones sufridas en Luján (2012, 2014 y 2015) y un *escenario 2* más desfavorable (Figura 8), que podría considerarse como un evento extremo, asociado a los registros históricos de inundaciones de mayor gravedad en la ciudad (1967, 1984 y 1988).

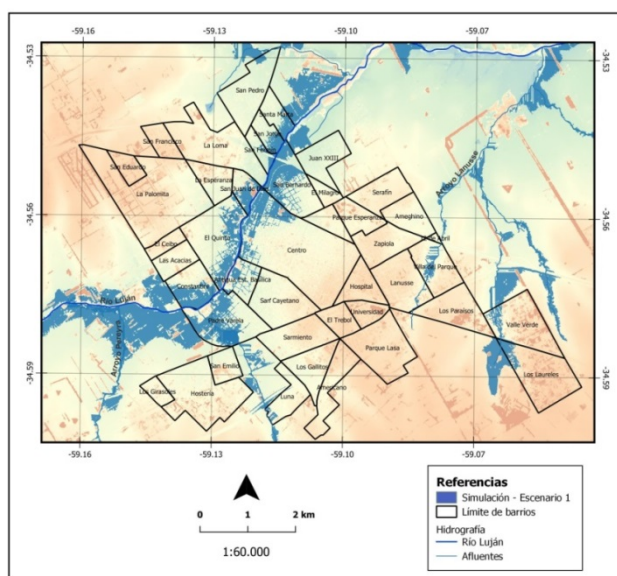


Figura 7.

Escenario de inundación 1.

Elaboración propia en base al MDE Aerofotogramétrico del IGN (2017)

Una vez obtenidos los escenarios, y con el objetivo de ampliar el análisis de los resultados, se asoció espacialmente el escenario más desfavorable con el mapa de vulnerabilidad socioeconómica de la ciudad de Luján (Figura 9) realizado por Principi (2020) a partir del cálculo del Valor de Índice Medio (VIM) que se enmarca dentro de las denominadas técnicas de análisis multivariado, utilizando ocho indicadores que incluyen datos de educación, vivienda y empleo según datos del censo 2010 (INDEC, 2013).

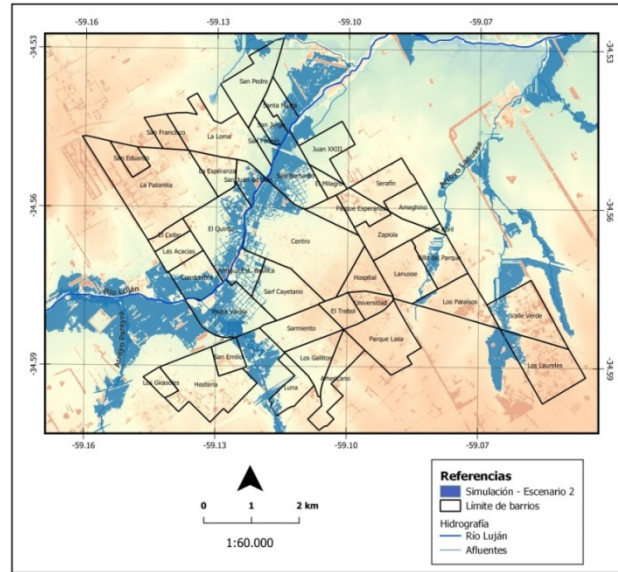


Figura 8.

Escenario de inundación 2.

Elaboración propia en base al MDE Aerofotogramétrico del IGN (2017)

Las simulaciones realizadas evidencian que existen varios sectores de la ciudad de Luján expuestos a la amenaza de inundaciones. Si consideramos el límite de los barrios urbanos, la superficie de inundación se mantiene en torno a los 6 km. que ya había determinado Haas (1995) pero la población afectada se duplicara, ascendiendo a 13500 habitantes, según datos oficiales del Censo 2010, o 14148 habitantes si consideramos la tendencia de crecimiento del partido según los datos provisorios del Censo 2022. El *escenario 1* tiene un grado de correspondencia de 72% con el mapa de la mancha de inundación del casco urbano levantado *in situ* en el 2015, por personal del municipio. De las áreas inundables vinculadas a los afluentes, se destacan las cercanas a los arroyos Gutiérrez y Lanusse que coinciden con áreas con vulnerabilidad alta. En el *escenario 2* la tendencia se mantiene, aumentando la superficie susceptible de inundación.

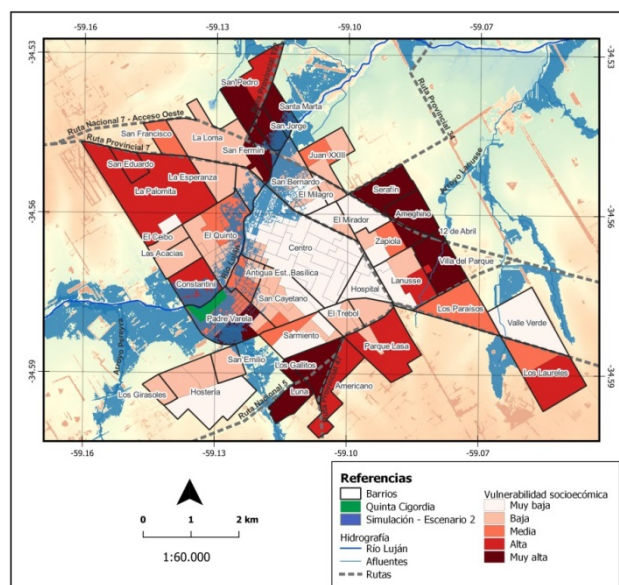


Figura 9.

Escenario de inundación 2 y vulnerabilidad socioeconómica.

Elaboración propia.

En las áreas aledañas al cauce principal, los principales barrios afectados son el Centro, El Quinto, La Loma, San Fermín, San Jorge, Santa Marta y San Pedro, abarcando desde sectores céntricos de la ciudad, con condiciones de vulnerabilidad bajas y que históricamente sufren inundaciones por su emplazamiento a orillas del río, hasta área periféricas con condiciones de vulnerabilidad altas, debido a que la distribución de la vulnerabilidad socioeconómica responde al clásico modelo urbano concéntrico (Burgess, 1925), donde las áreas centrales de la ciudad presentan las mejores condiciones y hacia la periferia las condiciones desmejoran.

En el sur-oeste de la ciudad se observa el arroyo Lanusse, que de forma recurrente sufre desbordes y/o anegamientos por crecidas naturales o por fuertes lluvias, afectando al barrio Villa del Parque y un sector del barrio Lanusse con condiciones de vulnerabilidad desfavorables. Según datos de aportados por la Subdirección de Emergencia y Defensa Civil (2017) hasta el año 1984 no existían problemas de inundaciones y anegamientos en estos barrios, ya que las cercanías del arroyo no estaban urbanizadas y el sistema de drenaje natural trasladada los excedentes de agua del arroyo hacia el río Luján.

En el centro-oeste de la ciudad, entre los barrios Padre Varela y Constantini, en inmediaciones del río Luján y el arroyo Gutiérrez, se puede observar que las simulaciones arrojan un área extensa con potencialidad de inundación. En esa zona, se localiza la Reserva Natural Municipal Quinta Cigordia, la única en la ciudad, que es importante por ser un reservorio de biodiversidad y un área de protección de humedales que actúa como “esponja” absorbiendo excedentes hídricos ante los eventos de inundación.

En el sur-oeste de la ciudad, se observa el barrio Luna afectado por potencial amenaza de inundación vinculada al arroyo Gutiérrez. Esta zona, con un nivel de vulnerabilidad muy alto, corresponde a una urbanización reciente y en expansión surgida a la vera del nuevo trazado de la ruta nacional N° 5.

Como se puede observar, ambos escenarios reflejan situaciones similares, pero se destaca que al tratarse de un área de llanura el aumento de apenas unos centímetros en el nivel de agua implica un aumento significativo de la superficie con potencialidad de inundarse, por eso es muy importante que al momento de analizar este tipo de eventos se contemplen diferentes variables no sólo en el sector de la ciudad de Luján sino en toda la cuenca.

En este sentido, este trabajo representa un primer acercamiento a escenarios visuales de inundación a través de una metodología simple de simulación de nivel de agua, en línea con la recomendación del *Manual de para la elaboración de mapas de riesgos* de Argentina (Renda, Rozas Garay, Moscardini & Torchia, 2017) donde se apunta a la generación de mapas de baja complejidad que permitan identificar en forma preliminar este tipo de amenazas.

Es importante destacar la posibilidad de contar con información de base del IGN como el MDE utilizado porque presenta una precisión y escala de detalle muy importante para trabajar a nivel urbano. Este año se cumplirá una década de los vuelos por el AMBA y la actualización de datos es imprescindible para poder replicar este tipo de procedimientos.

Si bien se trata de una amenaza de origen natural, vinculada principalmente al régimen pluviométrico y a la dinámica de la cuenca hidrográfica, los eventos de inundación se han ido agravando con el paso del tiempo debido a diferentes modificaciones de origen antropogénicas en la cuenca. En el sector de la cuenca media y baja del río Luján, en las últimas tres décadas aumentaron considerablemente las urbanizaciones privadas que, bajo la concepción de “vivir en la naturaleza”, han ocupado superficies correspondientes al valle de inundación del río, realizando diferentes modificaciones como el levantamiento de los terrenos o la construcción de lagunas artificiales, entre otras intervenciones; generando cambios significativos en la dinámica natural de la cuenca que han agravado la problemática de las inundaciones, incluso en áreas que antes no tenían dificultades. A esto se suma el aumento de asentamientos informales en áreas inundables, no aptas para urbanizar. Por su parte, en la cuenca alta, donde prevalece el área rural, también se evidencian modificaciones antrópicas que producen cambios a lo largo de toda la cuenca, como por ejemplo la construcción de canales clandestinos para evacuar el agua de los campos de forma más rápida hacia el río Luján, afectando el caudal del mismo. Existen trabajos geográficos que abordan estos diferentes aspectos de la problemática de inundaciones en la cuenca (Carballo & Goldberg, 2014; Pintos & Narodowski, 2012; Carballo, 2010; Ríos, 2005).

En este trabajo, la simulación de potenciales áreas inundables en la ciudad de Luján buscó representar la amenaza a nivel espacial, como insumo fundamental para abordar el análisis del riesgo, a partir de poder asociar espacialmente la amenaza con características de vulnerabilidad socioespacial de la población (Principi, 2022).

Conclusiones

La generación de cartografía sobre potenciales áreas inundables es importante para detectar tempranamente zonas y elementos que se encuentran expuestos a la amenaza. De esta forma, es posible orientar la toma de decisiones espaciales a

partir de reconocer el impacto que podría tener el evento de inundaciones en el área urbana, principalmente en ciudades intermedias, como Luján, que presentan gran dinamismo en las últimas décadas. En este sentido, esta es una aproximación inicial a escenarios de inundación visuales que debe profundizarse a partir de la incorporación de variables físico-naturales y socio-espaciales que intervienen en la problemática como por ejemplo los procesos de expansión urbana pasados, presentes y futuros.

A partir del procedimiento de simulación de nivel de agua, propicio para aplicar en áreas de llanura cuando se tienen datos de MDE de alta precisión, se reconocieron diferentes áreas de la ciudad donde la amenaza de inundaciones está presente. Esto incluye barrios céntricos, debido al emplazamiento histórico de la ciudad, y barrios periféricos de incorporación reciente al ejido urbano, muchos de ellos asentados sobre el valle de inundación del río. Además, se pudo vincular cartográficamente el subsistema físico-natural representado por la amenaza a inundaciones, a partir de la simulación de nivel de agua, con el subsistema humano a partir del mapa del vulnerabilidad socioeconómica de la población, lo que permitió tener una primera aproximación a las áreas que presentan mayor riesgo de inundación y que necesitarían un tratamiento prioritario en la planificación territorial del partido.

Se considera que el enfoque apropiado para el análisis de estas temáticas es sistémico y como tal, se entiende que la problemática de las inundaciones es compleja y responde a múltiples causas, que se deben abordar desde diferentes áreas del conocimiento. En este sentido, la finalidad fundamental, en la etapa diagnóstico de la planificación territorial, es comprender una situación dada, generar información de base, desde el nivel focal espacial que prevalece en este trabajo.

Finalmente, se resalta que a partir de este tipo de trabajos aplicados se pueden nutrir los canales de transferencia desde el ámbito académico hacia el ámbito de gestión territorial, donde se define la implementación y seguimiento de las propuestas concretas de ordenamiento territorial tendientes a mejorar las condiciones de vida de la población, buscando la eficiencia y justicia espacial, considerando la gestión del riesgo, tema actual y relevante que está presente en las agendas políticas, desde el ámbito local hasta el internacional

Referencias

- Aliaga, V. S.; Ferrelli, F.; Alberdi-Algarañaz, E.D., Bohn, V.Y., & Piccolo, M.C. (2016). Distribution and variability of precipitation in the Pampas, Argentina. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 42 (1), 261-280.
- Andrade, M.I. (Dir.) (1986). *Factores de deterioro ambiental en la Cuenca del río Luján*. Serie Contribuciones. Instituto de Geografía. Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras. UBA.
- Bertoni, J.P. (Org.).(2004). *Inundaciones urbanas en Argentina*. Córdoba: Editorial Científica Universitaria. Recuperado de <http://www.repositorio.cenpat-conicet.gob.ar/123456789/618> (consulta 20/10/2022).
- Burgess, E. W. (1925). The growth of the city: an introduction to a reseach project. In R.E.Park, E.W.Burgess, R.D.; & McKenzie (Ed). *The City*, 47-62. Chicago, United States: The Chicago University Press.

- Buzai, G. D.; Lanzelotti, S. L.; Paso Viola, F., & Principi, N. (2018). Cartografía analógica y digital para la delimitación regional y el análisis temático: aplicación a la cuenca del río Luján (Argentina). *Revista de Geografía Norte Grande*, (69), 99-119.
- Carballo, C. (2010). *Información Ambiental de la cuenca del Río Luján. Aportes para la gestión integral del agua*. Buenos Aires: Prometeo.
- Carballo, C., & Goldberg, S. (2014). *Comunidad e información ambiental del riesgo. Las inundaciones y el río Luján*. Buenos Aires: Dunken.
- CEPAL. (2018). *Base de datos y publicaciones estadísticas. Distribución de la población en áreas urbanas y rurales*. Recuperado de: <https://statistics.cepal.org/portal/cepalstat/index.html> (consulta 20/01/23)
- Daus, F. (1959). *Fisonomía regional de la República Argentina*. Buenos Aires: Editorial Nova.
- Distefano, S., Baldassini, N., Barbagallo, V., Borzì, L., D'Andrea, N. M., Urso, S., & Di Stefano, A. (2022). 3D Flooding Maps as Response to Tsunami Events: Applications in the Central Sicilian Channel (Southern Italy). *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/jmse10121953>
- DPOUyT, (2007). *Lineamientos Estratégicos para la Región Metropolitana de Buenos Aires*. La Plata: Dirección Provincial de Ordenamiento Urbano y Territorial de la Provincia de Buenos Aires
- El Civismo (25/08/2015). “Desde el 2012, el río mantiene en alerta a los lujanenses”. Recuperado de: <http://www.elcivismo.com.ar/notas/21521/> (consulta 20/03/2020).
- El Civismo. (07/11/12). “Un repaso por las inundaciones de los últimos 50 años. Información general.” Recuperado de <http://www.elcivismo.com.ar/notas/14429/> (consulta 20/03/2020).
- Fandé, M. B., Lira, C. P., & Penha-Lopes, G. (2022). Using TanDEM-X Global DEM to Map Coastal Flooding Exposure under Sea-Level Rise: Application to Guinea-Bissau. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/ijgi11040225>
- Espínola, A. (25/07/2022) “Inundados de Luján presentó un proyecto de restricción hídrica”. *Ladran Sancho Periódico Cooperativo*. Recuperado de: <https://ladransanchoweb.com.ar/inundados-de-lujan-presento-el-proyecto-de-restriccion-hidrica/>
- Ferrando A., F. J. (2006). Sobre inundaciones y anegamientos. *Revista De Urbanismo*, 15, 25–42. <https://doi.org/10.5354/ru.v0i15.5129>
- Ferrelli, F.; Brendel, A.; Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. (2021) Evaluación de la tendencia de la precipitación en la región pampeana (Argentina) durante el período 1960-2018. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise*. 51, 41-57.
- Flores, A. P., Giordano, L., & Ruggerio, C. A. (2020). A basin-level analysis of flood risk in urban and periurban areas: A case study in the metropolitan region of Buenos Aires, Argentina. *Heliyon*, 6(8), e04517. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04517>
- Gil, V., & Principi, N. (2019). “Cuenca del río Luján: Hidrografía y morfometría” (44-45). En Buzai, G.D.; Lanzelotti, S.; Principi, N.; Montes Galbán, E.; Humacata L.: Acuña, G.; Baxendale, C.; Marchetitch, R.; Marquez, S.; Paso Viola, F.; Chichkoyán, K.; Martínez, L. & Villerías Alarcón, I. *Atlas de Geografía Humana de la cuenca del río Luján*. Buenos Aires: Impresiones Buenos Aires.

- Haas, C. (1995). Inundaciones en áreas urbanas e impacto social. El caso de la ciudad de Luján, Buenos Aires. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 15, 393-399. Recuperado de <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/AGUC9595220393A> (consulta 10/02/2019).
- IGN. (2017). *Modelo Digital de Elevaciones Aerofotogramétrico del sector AMBA 1.3. Especificaciones técnicas*. Recuperado de <https://www.ign.gov.ar/AreaServicios/VuelosFotogrametricos> (consulta 15/02/2019).
- INDEC. (2023). *Censo nacional de población, hogares y viviendas 2022: resultados provisionales*. 1a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- INDEC. (2013). *Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010. Base de datos REDATAM*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina.
- Lanzelotti S. & G.D. Buzai. (2015). *Delimitación de la cuenca del río Luján, Provincia de Buenos Aires, Argentina*. Informe Técnico N° 1 Proyecto PICT 2014-1388. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/303703478_Delimitacion_de_la_cuenca_del_rio_Lujan_Provincia_de_Buenos_Aires_Argentina (consulta 10/02/2019).
- Linares, S.; Di Nucci, J., & Velázquez, G. (2016). Cambios en el Sistemas Urbano (68-82). En Velázquez, G. (Dir.) *Geografía y calidad de vida en Argentina. Análisis regional y departamental*. Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Lucioni, N., & Andrade, M. I. (2015). Vulnerabilidad institucional tras el proceso de crecimiento de las urbanizaciones cerradas sobre los humedales de la cuenca baja del río Luján. XVII Jornadas de Geografía de la UNLP, 11 y 12 de noviembre de 2015, La Plata, Argentina. En *Memoria Académica*. Disponible en: http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.9435/ev.9435.pdf
- Molero, V.; Pereyra, F., & Marcomini, S. (2022). *Análisis de las inundaciones en la cuenca superior y media del río Luján, provincia de Buenos Aires Analysis of the floods in the upper and middle basin of the Luján river, province of Buenos Aires*. 15–28.
- Paso Viola, L. (2016). Origen del Río Luján en el área imbrífera localizada en los partidos de Chacabuco, Suipacha y Carmen de Areco y su representación cartográfica. *Red Sociales*, 3 (1), 17-30. Recuperado de <http://www.redsocialesunlu.net/wp-content/uploads/2016/04/RSOC012-02-Origen-del-R%C3%ADo-Luj%C3%A1n-PASO-VIOLA.pdf> (consulta 15/03/21).
- Pintos, P., & Narodowski, P. (coord.) (2012). *La privatopía sacrílega. Efectos del urbanismo privado en humedales de la cuenca baja del río Luján*. Buenos Aires: Imago Mundi.
- Principi, N. (2022). Cartografía de riesgo a inundaciones como herramienta de apoyo a la planificación territorial. Aplicación a la ciudad de Luján (Argentina). *Revista Geográfica Digital*, (19) 37, 42-59. DOI: <https://doi.org/10.30972/geo.19375202>
- Principi, N. (2020). Mapa de la vulnerabilidad socioeconómica en la ciudad de Luján (Buenos Aires, Argentina) a partir de la metodología del Valor de Índice Medio. *Posición*, (3) 1-14.
- Renda, E.; Rozas Garay, M.; Moscardini, O., & Torchia, N. (2017). *Manual para la elaboración de mapas de riesgo*. Buenos Aires: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Ministerio de Seguridad de la Nación.
- Reyna, J., Spalletti, P., & Brea, J. D. (2007). *Riesgo de Inundaciones en el Río Luján*. 13.

- Ríos, D. (2005). Planificación urbana privada y desastres de inundación. Las urbanizaciones cerradas polderizadas en el municipio de Tigre, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Economía, Sociedad y Territorio*, 17 (5): 63-8.
- Sánchez Caro, A., & Bianchi, J. (2014). *Modelación hidrológica a paso diario de la cuenca del río Luján, Provincia de Buenos Aires*. Trabajo presentado en el 2° encuentro de investigadores en Formación en recurso hídricos. Ezeiza, Buenos Aires.
- Strahler, A. N., & Strahler, A. H. (1989). *Geografía Física*. Barcelona: Editorial Omega.
- Subdirección de Emergencia y Defensa Civil. (2017). *Gestión del riesgo en el partido de Luján*. Informe. Luján: Municipalidad de Luján.
- Velázquez, G. (2008). *Geografía y bienestar. Situación local, regional y global de la Argentina luego del censo de 2001*. Buenos Aires: Eudeba.

Notas

- [2] Convalidado por el Ministerio de Gobierno de la Provincia de Buenos Aires a través de la Resolución N° 508/2019 según el marco de referencia establecido en el Decreto-Ley de Ordenamiento Territorial y Uso del Suelo N° 8912/77 y sus normas complementarias y modificatorias. COU disponible en: <http://luj-bue-datos.paisdigital.innovacion.gob.ar/dataset/codigo-de-ordenamiento-urbano>
- [3] Detalles del Plan de Manejo Integral de la Cuenca del Río Luján y del COMILU se pueden consultar en: <https://www.gba.gob.ar/comilu>
- [4] Global Mapper Versión 19. Versión de prueba. Copyright Blue Marble Geographics 2016. Disponible en: <https://www.bluemarblegeo.com/global-mapper/>
- [5] Las especificaciones técnicas completas del MDE Aerofotogramétrico del IGN pueden consultarse en: <https://www.ign.gob.ar/AreaServicios/VuelosFotogrametricos>.