

Artículo de investigación

Evaluación del riesgo hidrometeorológico en la Cuenca del Arroyo de la Cruz, provincia de Buenos Aires

Martiniano Valle^{1*}; Adrián González^{2*}; Adriana Pereyra^{3*}

¹ UNLu (Universidad Nacional de Luján).

² INTA / UNLu (Universidad Nacional de Luján).

³ UNLu (Universidad Nacional de Luján) / UNQ (Universidad Nacional de Quilmes)

* E-mail: martinianovalle@yahoo.com, gonzalez.adrian@inta.gob.ar, pereyra.adriana8@gmail.com

Recibido: 16/05/2025; Aceptado: 15/06/2025; Publicado: 15/07/2025

Resumen

En este trabajo se propone evaluar el riesgo hidrometeorológico a partir del análisis de la amenaza, la dinámica de la exposición y la caracterización de la vulnerabilidad de la población expuesta en la cuenca del arroyo de la Cruz provincia de Buenos Aires, Argentina. Se realizó un análisis de la amenaza hidrológica, con la determinación del área inundable de la cuenca a partir del uso de un Modelo Digital de Elevación. Se estudió la evolución de la exposición poblacional a partir de un índice de área construida calculado con procesamiento de imágenes satelitales. Para caracterizar la vulnerabilidad, se creó un Índice de Vulnerabilidad Total, utilizando dos indicadores, porcentaje de Necesidades Básicas Insatisfechas y Población en hogares con hacinamiento crítico a partir INDEC por radio censal (INDEC, 2010). Se elaboró un mapa de riesgo, con el que se identificó a la población con mayor riesgo a partir de las categorías predeterminadas. Esta información resulta clave a la hora de visibilizar el riesgo a partir de las amenazas hidrometeorológicas, tanto para la población expuesta, como para los tomadores de decisiones, que contribuyan a implementar medidas de gestión del riesgo, de manera de minimizar los impactos sobre la sociedad ante eventos extremos hidrometeorológicos.

Palabras clave: ambiente; riesgo; desastres; vulnerabilidad; inundación.

Assessing the hydrometeorological risk in the Arroyo de la Cruz watershed, Buenos Aires province

Abstract

This paper aims to assess hydrometeorological risk by analyzing hazards, exposure dynamics, and characterizing the vulnerability of the exposed population in the Arroyo de la Cruz watershed, Buenos Aires Province, Argentina. A hydrological hazard analysis was conducted, determining the floodable area of the watershed using a Digital Elevation Model. The evolution of population exposure was studied using a built-up area index calculated using satellite image processing. To characterize vulnerability, a Total Vulnerability Index was created using two indicators: the percentage of unmet basic needs and the population in critically overcrowded households, based on the INDEC census area (INDEC, 2010). A risk map was created, identifying the population at greatest risk based on predetermined categories. This information is key to highlighting the risks posed by hydrometeorological hazards, both for the exposed population and for enabling decision-makers to implement risk management measures to minimize the impacts on society in the face of extreme hydrometeorological events.

Keywords: environment; risk; disaster; vulnerability; flood.

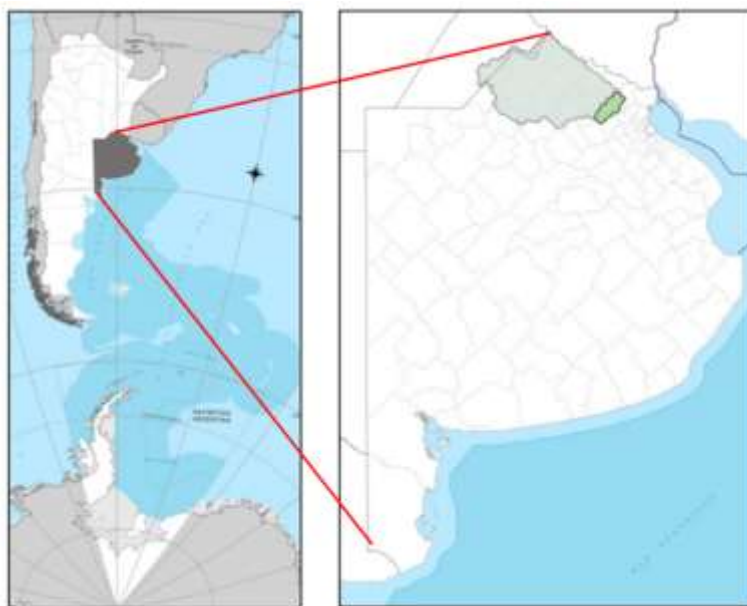
1. Introducción

Cada vez despiertan mayor interés los temas asociados a las cuestiones de riesgo y el potencial desastre que pueda derivar en caso de manifestarse fenómenos hidrometeorológicos sobre una determinada población expuesta. Existen procesos de transformación y nuevos forzantes del desarrollo que se van materializando en los territorios, a partir de la impronta de los diferentes actores sociales, que pueden emerger con fuerza o quedar más expuestos, como consecuencia del desencadenamiento de fenómenos hidrometeorológicos de consideración.

Las amenazas hidrometeorológicas son aquellos procesos o fenómenos naturales de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico, que pueden causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental (EIRD, 2004). Sobre la región del centro de nuestro país, las inundaciones constituyen uno de los grandes problemas y represento un 42% de los registros de eventos de desastre en el periodo 1970-2007 (PNUD, 2012).

La cuenca del arroyo de la Cruz está ubicada al noreste de la provincia de Buenos Aires, dentro de la región pampeana de Argentina, como se muestra en la figura 1 y comprende los partidos de Mercedes, San Andrés de Giles, Luján, Exaltación de la Cruz, Campana y Zárate, incluyendo la subcuenca del arroyo Pesquería. Nace en un bañado entre las localidades de San Andrés de Giles y Luján (Cañada el Sauce) y desemboca en el Paraná de las Palmas luego de recorrer 70 km, lo que comprende una superficie de 1174 km² (MIySP, 2020) e incluye una población total de 206.558 (INDEC, 2010). Presenta una forma elongada en el sentido suroeste-noreste, con un diseño de cuenca dendrítica, con una longitud de 65,7 km y una pendiente de 0,065% (Fucks y De Francesco, 2001).

Figura 1. Cuenca del arroyo de la Cruz: situación relativa.



Fuente: elaboración propia a partir de datos de ADA (2025).

Se alimenta de las precipitaciones, que al igual que las condiciones indicadas para el Río Luján por (Brea et. al., 2007) el régimen es de tipo mediterráneo con montos que oscilan entre los 950 mm anuales, con máximos de 1400 mm y mínimos de 600 mm. De la carta de Suelos de INTA se puede citar para esta región montos anuales que están entre los 1000 y 1100 mm (INTA, 2009). Según

(Andrade, 1986) las precipitaciones disminuyen de Este a Oeste. Se destaca que la variabilidad interanual de las precipitaciones puede variar hasta un 50 % e incluso más como ocurrió en varias oportunidades (Molero et. al., 2022), siendo relevante la ocurrencia bajo cierta frecuencia de precipitaciones diarias e incluso horarias anómalas, con valores que pueden superar en pocas horas los valores medios, o acumulados diarios mayores al de varios meses (Molero et. al., 2022).

Las precipitaciones pueden darse en cualquier época del año, e interaccionar con las crecidas del Paraná en su desembocadura (Andrade, 1986) combinadas o no con las fluctuaciones del Río de la Plata por el desarrollo de las Sudestadas. Los anegamientos comienzan a visualizarse a partir de la cota 7 aproximadamente (Fucks y De Francesco 2001). El escurrimiento natural de las aguas por precipitaciones pluviales es lento, que al combinarse con lo anteriormente expuesto genera desbordes, que de acuerdo con la magnitud en intensidad puede alcanzar a ocupar todo o gran parte del valle de inundación.

Es preciso considerar la importancia del ambiente típico de humedal que se presentan principalmente sobre la porción baja de la cuenca, dadas las importantes funciones que esta ejerce en lo que hace al servicio de amortiguación de crecidas o inundaciones. Los humedales son “ambientes en el cual la presencia temporaria o permanente de agua superficial o subsuperficial causa flujos biogeoquímicos propios y diferentes a los ambientes terrestres y acuáticos, rasgos distintivos son la presencia de biota adaptada a estas condiciones, comúnmente plantas hidrófitas y/o suelos hídricos o sustratos” (SGAyDS y Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales, 2019).

Las actividades que se desarrollan en la cuenca son predominantemente agropecuarias, destinadas a la producción de granos y forrajera, la producción ganadera, de aves, hortícola, entre otras, y se ubican sobre la parte alta y baja de la cuenca. En las cercanías de las zonas urbanas, los distritos industriales (se destaca por su magnitud la zona de Campana y Zárate, en la porción baja de la Cuenca), que contribuyen a la generación de empleo y el desarrollo económico, traccionan el incremento de la infraestructura y la demanda de tierras para la expansión urbana.

En la cuenca del arroyo de la Cruz se identifican antecedentes recientes (en año 2015, 2017, 2018) de crecidas e inundaciones a causa de fuertes precipitaciones y especialmente de corta duración, que afectaron tanto a población urbana, como áreas rurales e infraestructura como caminos y rutas, principalmente en la cuenca baja, correspondiente al área dentro de los partidos de Campana y Zárate.

Considerar el análisis y la gestión del riesgo, permite reunir elementos para una mejor toma de decisiones y contar con información que sea de utilidad para la reducción de los impactos sobre la población expuesta a estos fenómenos. La gestión del riesgo se puede entender como un proceso, que consta de distintas etapas, involucra el análisis de la amenaza y la vulnerabilidad (González y Torchia, 2007).

El objetivo de este trabajo es evaluar el riesgo a partir del desarrollo de fenómenos hidrometeorológicos algunos de ellos de características extremas, considerando como unidad de análisis la cuenca del Arroyo de la Cruz. Nos preguntamos acerca de las características de la amenaza, la ubicación y características de la población expuesta, la evolución de la exposición, las dimensiones de la vulnerabilidad, y que tipos de riesgos pueden identificarse a partir de una adecuada evaluación del mismo. Adquieren relevancia en el contexto de los recientes cambios en la ocupación del suelo, los procesos de alta variabilidad climática y el desarrollo de fenómenos hidrometeorológicos de características extremas.

Se enmarca en el proyecto de investigación “Riesgos y desastres, una perspectiva de análisis de los eventos hidrometeorológicos en las cuencas del Arroyo de la Cruz, río Areco y Luján en la provincia de Buenos Aires, desde la Teoría Social del Riesgo”.

La perspectiva de la Teoría Social del Riesgo, implica considerar un enfoque interdisciplinario que combina aspectos de la sociología, la geografía, las ciencias ambientales y la política para entender cómo los factores sociales, económicos y políticos influyen en la gestión del riesgo.

En la primera parte del trabajo, se hace mención a los conceptos centrales que contribuyen a responder las preguntas de investigación, y se presenta el encuadre metodológico que se ha considerado como marco para el análisis de los resultados obtenidos como producto del procesamiento de la información.

Se exponen los elementos que permitieron analizar la amenaza hidrológica, determinando el área inundable de la cuenca a partir del uso de Modelo Digital de Elevación (MDE). Se dimensiona el avance urbano sobre la planicie de inundación a partir de dos imágenes satelitales con la aplicación de un índice de área construida. Asimismo, se explica cómo se caracteriza la vulnerabilidad a partir de la selección de dos indicadores, y se presenta como resultado un mapa de riesgo a partir de la superposición del mapa de vulnerabilidad y el de amenaza.

Se pretende contar con información relevante a la hora de visibilizar el riesgo a partir de las amenazas hidrometeorológicas, tanto para la población expuesta, como para tomadores de decisiones, para que puedan implementar medidas de prevención y preparación de la gestión del riesgo, de manera en minimizar los impactos sobre la sociedad ante eventos extremos hidrometeorológicos.

1.1. Marco conceptual. Riesgos y desastres, conceptos claves.

Las transformaciones territoriales que se producen en determinadas regiones, si carecen de instancias participación y validación social, pueden catalizar las tensiones y conflictos entre diferentes actores que suelen emerger y amplificarse a partir del desarrollo de eventos hidrometeorológicos peligrosos sobre una determinada población. En este sentido, la planificación del territorio debería contemplar el análisis y la evaluación del riesgo, de modo de prevenir situaciones de desastres minimizando los impactos sobre las personas y sus bienes.

Un evento hidrometeorológico puede provocar inundaciones, a causa de precipitaciones intensas o prolongadas, la crecida de los ríos, la rotura de alguna infraestructura hidráulica, la baja capacidad de absorción de los suelos al momento del desarrollo de las precipitaciones o la llegada del máximo caudal de los ríos provocando daños sobre la población y los bienes (Fenoglio et. al., 2015). Las inundaciones sobre la zona urbana se producen como resultado directo o indirecto de la modificación del ciclo del agua en las ciudades y se distinguen en las de tipo pluvial (anegamiento) originada por lluvias intensas o abundantes que superan la capacidad de conducción del sistema pluvial urbano, las inundaciones ribereñas o costeras, que se producen como consecuencia del desborde de ríos, arroyos o el mar, y las inundaciones mixtas, donde se combina la crecida de un río con la falta de capacidad del sistema pluvial para la evacuación de los excedentes generados por la lluvia (Fenoglio et. al., 2015).

El riesgo de desastre es la probabilidad de daños que se produce como resultado de la ocurrencia de un fenómeno peligroso, ya sea de origen natural o antrópico sobre una comunidad vulnerable a dicho fenómeno (González y Torchia, 2007). No todos los fenómenos peligrosos para la sociedad generan un riesgo de desastre. Esto va a depender de la vulnerabilidad de la comunidad expuesta. Para Natenzon (2003), el riesgo puede definirse como la probabilidad de resultados imprevistos o de consecuencias poco anticipables, que pueden derivarse de decisiones, pero también de omisiones o acciones de la sociedad. Los riesgos son conformados por la percepción y construcción social (Beck, 2007).

Es necesario incorporar una visión amplia, sistémica, con el fin de interpretar cómo se producen las interrelaciones de variables en un territorio, indagando respecto de las características ambientales y socioeconómicas, y cómo estas se vinculan con la sociedad y sus actividades más relevantes.

La Teoría Social del Riesgo nos permite aproximarnos a esta visión sistémica que centra la atención en cómo las sociedades perciben, gestionan y responden ante los riesgos asociados a los fenómenos como las inundaciones, en este caso de tipo urbanas, producto del caudal elevado de los cursos de aguas que desbordan de manera repentina y severa, capaz de afectar viviendas, infraestructura urbana, y en definitiva el normal funcionamiento de la espacialidad urbana. De ahí que consideramos al riesgo como una construcción social. Analizar el riesgo implica obtener conocimiento que permita definir y caracterizar a la amenaza, a la población vulnerable, el lugar y las condiciones en donde impacta, y el momento en el que se producen las interacciones (Renda et. al., 2017).

Resulta necesario entender los conceptos de riesgo, amenaza y vulnerabilidad. Según Lavell et. al. (1996), para que exista riesgo tiene que haber una amenaza y una población vulnerable a sus impactos. Respecto del análisis de la amenaza refiere a fenómenos y/o procesos que potencialmente pongan en peligro la vida o las condiciones de vida de las personas, pudiéndose identificar por su origen en dos tipos, las naturales y las de origen antrópico (Renda et. al., 2017).

Entre las amenazas de origen natural, las de tipo hidrometeorológicas están asociadas con el funcionamiento climático-hidrológico, y las inundaciones, se producen a partir de un evento natural y recurrente sobre un curso de agua, resultado de lluvias intensas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y descarga que derivan en un estancamiento (Renda et. al., 2017). alguna de estas amenazas, adquieren características extremas. Se considera que un evento meteorológico es extremo cuando se encuentra por encima o por debajo de un valor umbral y que, debido a su magnitud, genera impactos adversos sobre los sistemas naturales y sociales (Fenoglio et. al., 2015).

La vulnerabilidad es representada como la incapacidad de una población para hacer frente a una situación de riesgo y poder salir de ella, y presenta diferentes dimensiones (Wilches Chaux, 1993), que contribuyen a una mejor evolución de esta. La exposición es definida por UNDRR (2022) como la situación en que se encuentran las personas, infraestructuras, viviendas, y otros activos humanos tangibles situados en áreas bajo amenaza.

Hacer referencia a la capacidad de afrontamiento de una población resulta clave ya que implica considerar la habilidad de las organizaciones y los sistemas, mediante el uso de los recursos y las destrezas disponibles, de enfrentar y gestionar condiciones adversas, situaciones de emergencia o desastres (FAO, 2009).

2. Materiales y métodos

Para el desarrollo del trabajo se realizó en primer lugar un relevamiento y selección bibliográfica y fuentes periodísticas. Se eligieron los conceptos centrales que contribuyen a explicar mejor el problema y los interrogantes planteados.

Se considera como unidad de análisis la cuenca hidrográfica, al representar una unidad física que permite un mejor abordaje, al compartirse distintas espacialidades, la posibilidad de acotar la población, las actividades económicas, la identificación de los cambios sobre el territorio, etc.

En este apartado realiza una presentación general de la metodología aplicada. La descripción de los pasos metodológicos y fuentes específicas se incorporan en el ítem Resultados. El análisis de la amenaza se basó en el estudio de un Modelo Digital de Elevación (MDE) a partir de los datos disponibles en el Instituto Geográfico Nacional (IGN). En el estudio de la exposición y su dinámica se utilizaron imágenes satelitales del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2025), correspondientes a la misión Landsat. Para la vulnerabilidad, se ha considerado IVT (Índice de Vulnerabilidad Total) y otros datos obtenidos de los municipios, de ONGs y de la participación en espacio de gestión colectiva local, como es la Comisión Asesora del Comité de Cuenca del Arroyo de la Cruz.

Las principales fuentes de las capas temáticas utilizadas corresponden al IGN, el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC), el ReNaBaP (Registro Nacional de Barrios Populares), incorporándose las capas desde la página de Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina (IDERA).

Los datos utilizados para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad se obtuvieron del Censo 2010 y fueron complementados con datos del Censo 2022. Asimismo, se incorpora al análisis la capa generada por el ReNaBaP, el cual reúne información sobre las villas y/o asentamientos en Argentina, y cuenta con datos actuales para los radios censales clasificados como de alta vulnerabilidad en el área de estudio.

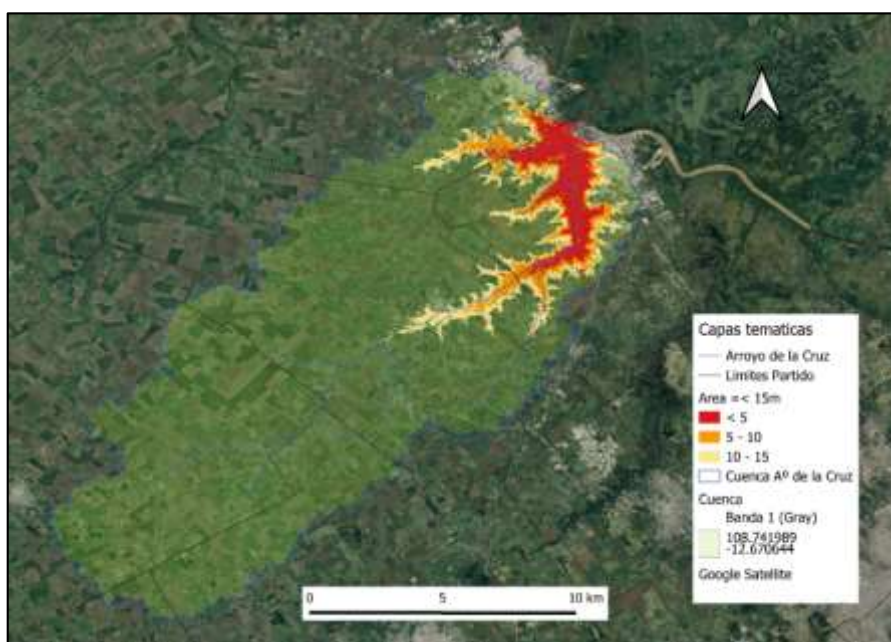
3. Resultados

3.1. Análisis de la amenaza

A partir de información del Instituto Geográfico Nacional (IGN) se creó la capa “Arroyo de la Cruz”, y se procedió a la delimitación de la cuenca. La amenaza se analizó a través del estudio de las pendientes del área. Para el mapeo se determinaron dos capas temáticas, una vectorial y otra raster. En primer lugar, se utilizó un Modelo Digital de Elevación (MDE) del IGN, se confeccionaron curvas de nivel en toda la cuenca, con una equidistancia de 5 metros, y como resultado se obtuvo una capa vectorial de la amenaza. El valor que poseen las curvas de nivel permite distinguir las áreas más bajas, con potencial de riesgo de inundación. Para eso, se realizó consulta en la capa, seleccionando curvas con elevación igual o menores a 15 metros, área similar a la alcanzada por la crecida del 18 de mayo de 2025.

Los sectores con una altitud igual o menor a 15 metros fueron divididos en 3 clases iguales, identificando 3 niveles de amenaza: menor a 5 metros (amenaza alta); entre 5 y 10 metros (amenaza media); entre 10 y 15 metros (amenaza baja), como se muestra en la figura 2:

Figura 2. Clasificación de la cuenca según la cota resultante del Modelo Digital de Elevación.



Fuente: elaboración propia a partir de datos del IGN (2024)

3.2. Evolución de la exposición: avance urbano sobre el área inundable.

Para determinar la evolución de la exposición poblacional sobre la planicie de inundación del arroyo, se elaboró el índice de área construida o Build Up Index (índice BU por su sigla en inglés), con el que se determinó la proporción de área construida y vegetación en el área, con el uso del método propuesto por Humacata (2020).

El objetivo es cuantificar el avance del uso urbano e industrial sobre el humedal correspondiente a la planicie de inundación, para determinar si la exposición a la amenaza hidrológica se ha incrementado en los últimos 10 años.

Para comparar el índice de área construida en los últimos 10 años se utilizan dos imágenes satelitales Landsat, obtenidas desde el catálogo Earth Explorer del United States Geological Survey (USGS, 2025). Las imágenes usadas corresponden a los meses noviembre de 2013 y noviembre de 2024. Se seleccionó el mismo mes para minimizar variaciones en la respuesta espectral que correspondieran a factores estacionales, como variaciones en los cultivos o climáticas. A continuación, se presenta tabla resumen de las dos imágenes utilizadas:

Tabla 1. Imágenes satelitales utilizadas.

Fecha de adquisicion	14/Nov/2013	20/Nov/2024
Mision	LANDSAT 8	LANDSAT 9
ID del producto	LC08_L2SP_225084_2013 1114_20200912_02_T1	LC09_L2SP_225084_2024 1120_20241203_02_T1

Fuente: USGS (2025).

El índice BU fue calculado en el programa QGIS para cada imagen. El primer paso fue el pre-procesamiento, que incluye la calibración y corrección atmosférica. Luego se realizó el procesamiento, que consistió en la combinación de bandas para formar una imagen con falso color que realza el aspecto de la superficie que se busca determinar, en este caso las edificaciones. Para esto, se seleccionó la combinación 7-6-4, denominada falso color (urbano), una de las combinaciones de banda más utilizadas (Pérez Gañán, 2019). Luego fue necesario calcular los índices NDVI (índice de vegetación estandarizado) y NDBI (índice de área construida estandarizado) para cada imagen. Ambos índices se obtienen a partir del siguiente cálculo entre bandas:

$$NDBI = (b6 - b5) / (b6 + b5)$$

$$NDVI = (b5 - b4) / (b5 + b4)$$

El índice BU se obtiene a partir de la resta de los dos índices calculados previamente:

$$BU = NDBI - NDVI$$

La imagen se recortó para los límites de la cuenca y se clasifico en función de su valor. El resultado es un mapa continuo de área construida en el que se representan las distintas proporciones de edificación y vegetación en cada píxel. A mayor valor del índice la construcción es más densa y posee menor proporción de área verde (Humacata, 2020). No obstante, en esta etapa del proceso aún hay interferencias, principalmente por suelo desnudo, que más adelante son corregidas. A continuación, se muestra en la figura 3 el resultado parcial para esta etapa del proceso:

Figura 3. Índice de área construida para la cuenca baja en año 2013.

Fuente: Elaboración propia en QGIS con datos de USGS (2025) e IGN (2024).

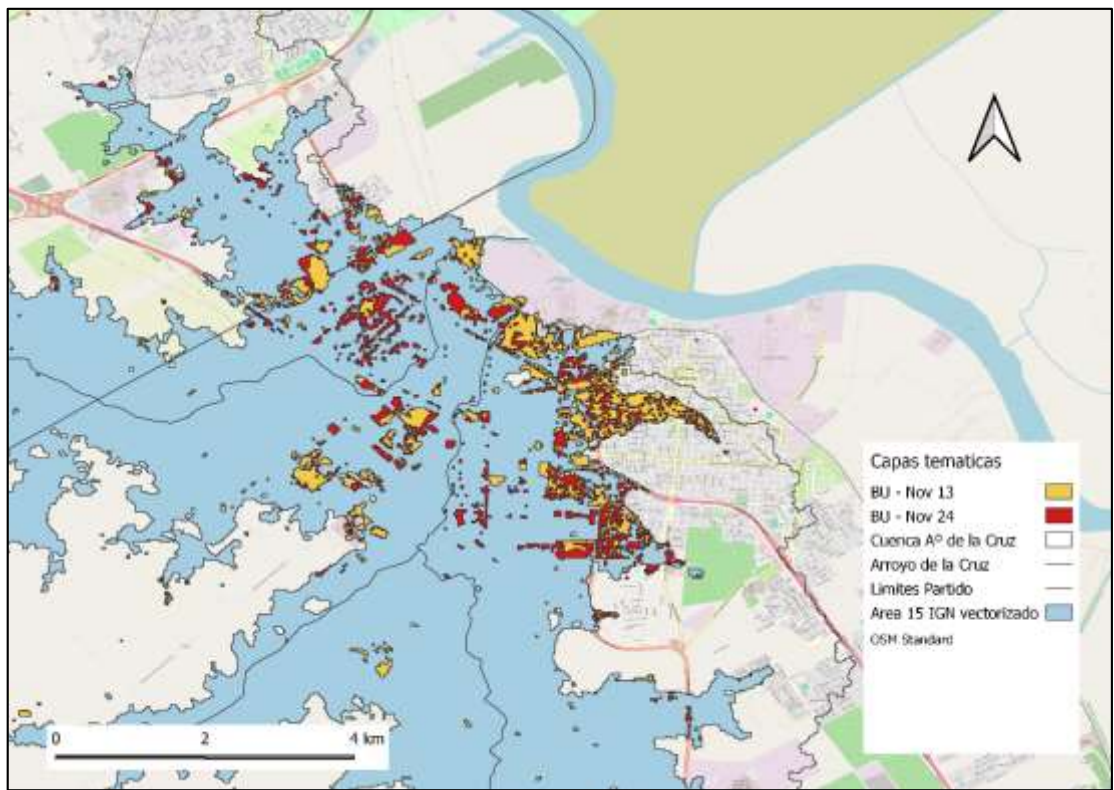
Dado que se busca conocer la evolución de la exposición en un área específica de la Cuenca, es decir el sector con cota menor a 15 metros IGN, las dos imágenes con el índice BU se recortan para el área inundable, con el uso de la función “cortar raster por capa de máscara”. Para esto fue necesario crear el polígono “área < 15 IGN”, con los datos del modelo digital de elevaciones.

Por último, se realizó la binarización del índice BU de modo de separar las áreas construidas de las no construidas. La tarea consistió en reclasificar BU en binario, asignando el valor 1 a todos los píxeles con valor mayor a -0,3 y 0 al resto del área. Para definir el valor umbral se realizaron pruebas visuales utilizando diferentes valores umbral y se identificó cuál de ellos permitía diferenciar mejor las áreas urbanizadas. El valor umbral seleccionado es -0.3, por lo tanto, la reclasificación se realizó de esta manera:

- De -1.40 a -0.30 → 0 (no construido)
- De -0.30 a 1.56 → 1 (construido)

Para finalizar, se realizó la corrección de interferencias con suelo desnudo y se eliminaron polígonos erróneos de forma manual. El resultado se convirtió de formato raster a vectorial obteniendo como resultado el mapa que se muestra a continuación:

Figura 4. Índice BU en el área con cota < 15 IGN de la cuenca baja. Años 2013 y 2024.



Fuente: Elaboración propia en QGIS con imágenes Landsat (2025).

El análisis muestra que el área urbana se expandió el 10% en el periodo 2013-2024 sobre el área inundable.

3.3. Análisis de la vulnerabilidad.

Para caracterizar la vulnerabilidad socioeconomic se creó el Índice de Vulnerabilidad Total (IVT), calculado a partir de datos de INDEC (detallados más adelante) por radio censal. Se utilizaron los indicadores porcentaje de hacinamiento crítico (Phacin) y porcentaje de Necesidades Básicas Insatisfechas (PNBI). Se realizó clasificación del Phacin y del PNBI. Para cada uno de los indicadores, se categorizaron en valores alto (10), medio (5) y bajo (1). Luego se calculó el promedio de los dos indicadores. Los valores resultantes de IVT son: 1 a 4 (vulnerabilidad baja); 5 a 8 (vulnerabilidad media); 9 y 10 (vulnerabilidad alta).

A continuación, se presenta la tabla de atributos de la capa sobre la que se realizó el cálculo. A modo de ejemplo, se refleja en la tabla 2 el registro correspondiente a uno de los barrios (San Cayetano, localizado en el partido de Campana), con un IVT medio (columna “VUL_TOT”).

Tabla 2. Calculo del IVT (Barrio San Cayetano).

240, Filtrados: 5240, Seleccionados: 1							
phacin	pnbi	ptenirre	pinquil	CPNBI	CPHACIN	sum_vul	VUL_TOT
0	100.00	100.00	0	10	1	11	6

Fuente: elaboración propia con QGIS y datos de INDEC (2024).

Para el cálculo del IVT se utilizaron como base los datos del Censo 2010 a nivel de radio censal, complementados con resultados preliminares del Censo 2022. Dadas las diferencias en delimitación territorial de ambos relevamientos, los resultados del Censo 2022 se procesaron como una capa temática independiente, que identifica radios censales con porcentajes de NBI superiores al 20%. Se incorporaron además datos del ReNaBaP 2023, permitiendo validar vulnerabilidad en áreas críticas. A continuación, se presenta la tabla de atributos de esta capa, indicando los datos correspondientes al Barrio San Cayetano:

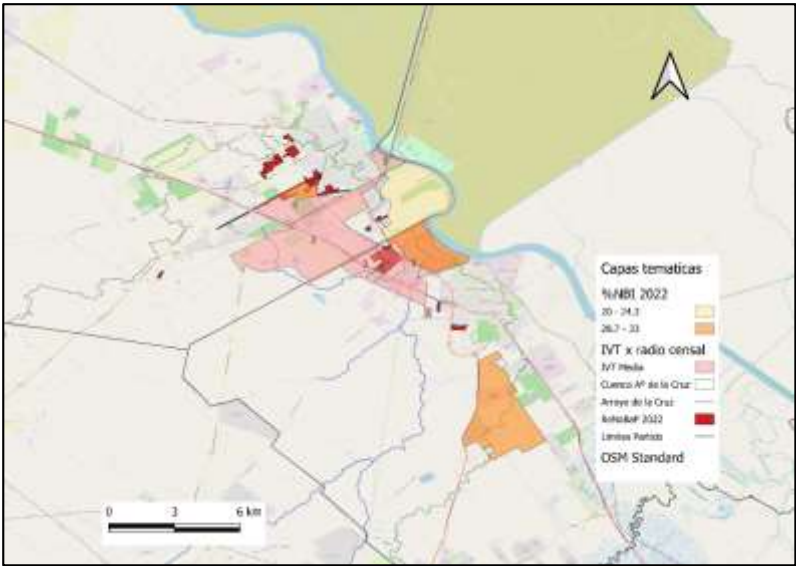
Tabla 3. Características socioeconómicas del Barrio San Cayetano.

Objeto espacial	Valor
barrios_renabap_2022	
nom_barrio	San Cayetano
(Derivado)	
(Acciones)	
gid	1326
nom_barrio	San Cayetano
cant_viv	3500.000000000000000000
cant_fam	3850.000000000000000000
energia_el	Conexión irregular a la red
efluente_c	Desagüe sólo a pozo negro/ciego u hoyo
agua_corri	Bomba de agua de pozo comunitaria
cocina	Gas en garrafa
calefac	Leña o carbón
situa_domi	Otro tipo de seguridad en la tenencia
clas_bar	Asentamiento
categoria	Muy alto
fuente	Ministerio de Desarrollo Social, Secretaría de Inte...

Fuente: ReNaBaP (2023).

Puede comprobarse la consistencia entre los datos de ReNaBaP y los resultados del IVT. En la cuenca no hay sectores con IVT Alta y las áreas con IVT media están principalmente en la cuenca baja. En el siguiente mapa de vulnerabilidad socioeconómica en la cuenca baja (Figura 5), se indican los radios censales con IVT media (valor 3), radios censales con NBI superior a 20% en 2022 y los barrios ReNaBaP:

Figura 5. Mapa de Vulnerabilidad de la Cuenca baja: radios censales con IVT media (valor 3) y Barrios ReNaBaP.



Fuente: elaboración propia a partir de datos de INDEC y ReNaBaP (2023).

Los tres conjuntos de datos analizados coinciden en identificar la cuenca baja como el sector de mayor vulnerabilidad socioeconómica. La única excepción corresponde a un radio censal ubicado en el barrio Los Pioneros (sector este de la Ruta 6), que presenta un 33% de NBI. Este valor atípico se explica por la baja densidad poblacional del área, donde apenas 16 hogares con condiciones de vulnerabilidad elevada influyen desproporcionadamente en el indicador del polígono completo.

3.4. Evaluación del riesgo hidrológico.

A partir de la obtención del mapa de amenaza y el de vulnerabilidad, se realizó la superposición de ambas variables, obteniendo como resultado una categorización de diferentes niveles de riesgo. Para ello se utilizó una matriz de doble entrada (Tabla 4), donde las filas están representadas por las tres clases de IVT (baja, media y alta), y las columnas por los tres niveles de amenaza, según la altura del terreno. El resultado son cinco categorías de riesgo: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

Tabla 4. Matriz de evaluación de riesgo: Nivel de riesgo en función de la amenaza y la vulnerabilidad.

	Amenaza Baja (>10m y <15m)	Amenaza Media (>5m y >10m)	Amenaza Alta (<5m)
IVT Bajo (1)	Muy bajo	Bajo	Medio
IVT Medio (3)	Bajo	Medio	Alto
IVT Alto (6)	Medio	Alto	Muy alto

Fuente: elaboración propia (2024)

En la siguiente tabla (Tabla 5) se muestran los valores de riesgo correspondientes a 8 villas y/o asentamientos registrados por ReNaBap en área bajo amenaza, totalizando 30.360 familias, o un estimado de 120.000 personas:

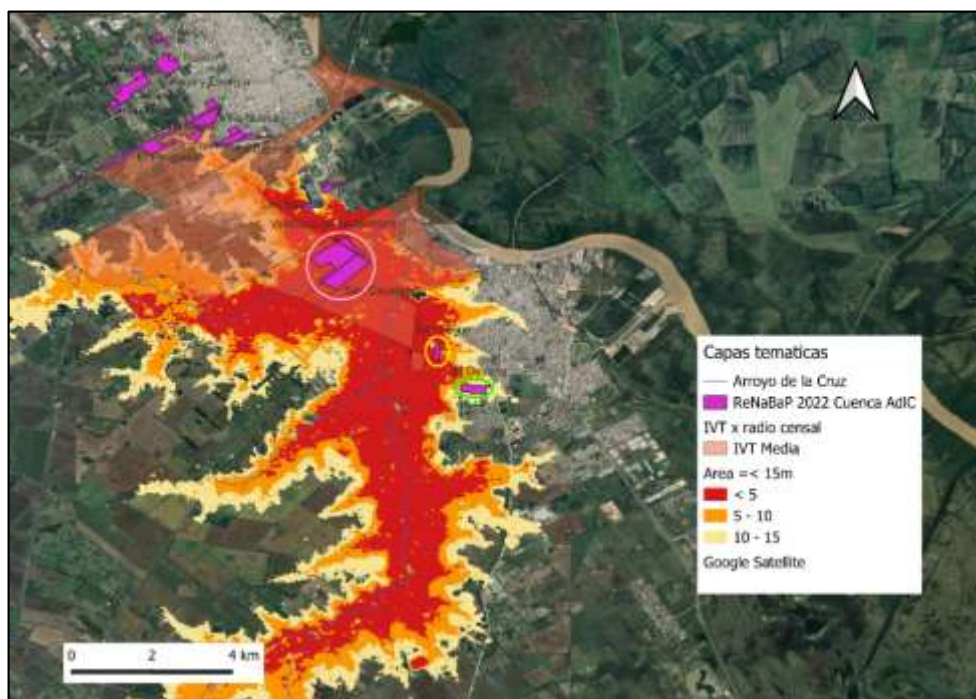
Tabla 5. Nivel de riesgo de Barrios ReNaBaP localizados en área bajo amenaza.

Barrio ReNaBap	Cantidad de familias	Nivel de amenaza	IVT	Nivel de riesgo
21 de Septiembre	10340	Alta	Media	Alto
San cayetano	3850	Alta	Media	Alto
Santa lucia	550	Alta	Media	Alto
San felipe	3300	Alta	Baja	Medio
El destino	4950	Media	Baja	Bajo
El progreso	6050	Baja	Media	Bajo
Irigoyen	770	Baja	Media	Bajo
Los sauces	550	Media	Baja	Bajo

Fuente: elaboración propia (2024)

Se identificaron y ubicaron espacialmente los barrios con mayor nivel de riesgo. Estos son; San Cayetano, 21 de Septiembre y Santa Lucía, todos ellos emplazados al margen del arroyo Pesquería, zona de terrenos bajos ubicada en las proximidades de la desembocadura en el río Paraná. En un nivel de riesgo medio se encuentra el barrio San Felipe, localizado sobre la margen derecha del arroyo de la Cruz. El barrio El Destino es clasificado como de riesgo bajo, al estar emplazado en un radio con IVT baja y a una cota IGN mayor a 5 msnm. Los resultados de este análisis se representan en la figura 6:

Figura 6. Mapa de riesgo. Vista de la cuenca baja. Los círculos rosa, amarillo y verde indican los barrios en riesgo.



Fuente: elaboración propia (2024).

Esta distribución espacial del riesgo evidencia una correlación directa entre la altitud del terreno y las condiciones socioeconómicas, donde los barrios con mayor riesgo coinciden con cotas inferiores a 5 msnm en la planicie de inundación del arroyo Pesquería y valores de IVT medio.

4. Conclusiones

Este trabajo se ha centrado en analizar la amenaza, estudiar la dinámica de la exposición y caracterizar la vulnerabilidad de la población expuesta en la cuenca del arroyo de la Cruz. El resultado ha sido la obtención de un mapa de riesgo, donde se identificaron los niveles de riesgo para la población, en zonas de niveles bajos del terreno, donde impactan los fenómenos hidrometeorológicos y especialmente cuando adquieren características extremas.

Los recientes cambios en la ocupación del suelo, sumado a los procesos de alta variabilidad climática y el desarrollo de fenómenos hidrometeorológicos de características extremas, imprime la necesidad de visibilizar el riesgo, de modo que tanto la población expuesta como los tomadores de decisiones puedan implementar medidas de gestión que anticipen y prevengan los impactos sobre la sociedad ante eventos extremos hidrometeorológicos que puedan manifestarse.

Se contribuye de esta manera a disponer de información clave para la toma de decisiones en la gestión del riesgo hidrometeorológico, que permita la creación y puesta en valor de instrumentos de gestión orientados a la adaptación a los eventos extremos, a partir de un mayor involucramiento de la comunidad y los actores gubernamentales.

La comprensión y evaluación del riesgo hidrometeorológico resulta un elemento de importancia en la gestión integral, que debe ser reforzado con la incorporación de aportes de los municipios en materia de vulnerabilidad, en el marco de un trabajo conjunto con la Comisión Asesora Comité de Cuenca Arroyo de La Cruz.

Referencias bibliográficas

Andrade M. (1986). Factores de deterioro ambiental en la cuenca del río Luján. En Contribución del Instituto de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras (UBA). Buenos Aires.

Autoridad del Agua (2025). Atlas de Cuencas Hídricas de la PBA (Etapa 2). Subsecretaría de Recursos Hídricos Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos. Recuperado de: <https://ada.gba.gov.ar/mapas-de-cuencas/>

Beck, U. (2007). La sociedad del riesgo mundial. En busca de la seguridad perdida. Barcelona, Paidós.

Brea J., Reyna J., Spalletti P., (2007). Diagnóstico del funcionamiento hidrológico hidráulico de la cuenca del río Luján, Provincia de Buenos Aires. Delimitación de las zonas de bajo riesgo hídrico. Laboratorio de Hidráulica Aplicada. Instituto Nacional del Agua. Buenos Aires.

EIRD (2004). Vivir con el riesgo. Washington. Estrategia Nacional de Reducción del Riesgo ONU-EIRD. Recuperado de: <https://www.eird.org/vivir-con-el-riesgo/capitulos/ch2-section1.pdf>.

FAO (2009). Análisis de sistemas de gestión del riesgo de desastre. Una Guía. Serie Ambiente. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. ISSN-1810-0767. Roma. Italia

Fenoglio, E., et al. (2015). Cambio Climático, En inundaciones urbanas y cambio climático. JICA-ABJA- Ministerio Seguridad- Ministerio de Planificación, S AyDS y Jefatura de Gabinete de Ministros, Buenos Aires. Argentina.

Fucks, E. y De Francesco F. (2001). Características ambientales de la Cuenca del Arroyo de la Cruz y el sector inferior del Río Luján, provincia de Buenos Aires, Argentina. III Reunión Nacional de Geología ambiental y ordenación del territorio. I Reunión de geología ambiental y ordenación del territorio del área del Mercosur. Mar del Plata. Buenos Aires. Marzo 2001 ISBN 967-544003-5

González, S. Torchia, N. (2007). Aportes para la elaboración del marco conceptual. Programa Nacional de Reducción de Riesgos de Desastres y Desarrollo Territorial (Proyecto PNUD-ARG 05/020). Subsecretaría de Planificación Territorial de la Inversión Pública – MINPLAN.

Humacata, L. (2020). Sistemas de Información Geográfica: aplicaciones para el análisis de clasificación espacial y cambios de usos del suelo. 1a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Impresiones Buenos Aires Editorial.

IGN (2024). *Capas SIG*. Ministerio de Defensa. Recuperado de <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>

INDEC (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Recuperado de: https://www.indec.gob.ar/ftp/Tablas/poblacion/censo2010_tomo1.pdf

Instituto Nacional del Tecnología Agropecuaria (2009). Carta de Suelos de la República Argentina. Buenos Aires

Lavell, A., et al. (1996). Estado, sociedad y gestión de los Desastres en América Latina: en busca del paradigma perdido. La Red. FLACSO. ITDG. Perú.

MiySP (2020). Atlas de Cuenca y Regiones Hídricas-Ambientales de la Provincia Buenos Aires (2000) Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires.

Molero, V. Pereyra, F. Marcomini, S. (2022). Análisis de las inundaciones en la cuenca superior y media del río Luján, provincia de Buenos Aires. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente N° 49. Buenos Aires.

Natenzon (2003). "Inundaciones catastróficas, vulnerabilidad social y adaptaciones en un caso argentino actual. Cambio Climático, elevación del nivel medio del mar y sus implicancias". En: Climate Change Impacts and Integrated Assessment. EMF. Workshop IX. July 28-august 7, Snowmas. Colorado. EEUU.

Pérez Gañán, R. (2019). Introducción a la teledetección. 1ra Ed. Bernal. Universidad Virtual de Quilmes. Recuperado de <https://static.uvq.edu.ar/mdm/teledeteccion/unidad-0.html>

PNUD (2012). Documento país 2012. Riesgo de Desastres en Argentina. Comisión Europea UNDP. Cruz Roja Argentina. Cruz Roja Finlandesa y Protección Civil. Buenos Aires.

ReNaBaP (2023). Registro Nacional de Barrios Populares. Ministerio de Desarrollo Social de la Nación. Recuperado de: <https://mapa.poblaciones.org/>

Renda E.; Rozas Garay, M.; Moscardini, O., & Torchia, N. (2017). Manual para la elaboración de mapas de riesgo. Programa Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD; Argentina: Ministerio de Seguridad de la Nación. 1a Ed ilustrada. Buenos Aires.

Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación y Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales / Wetlands International. 2019. Estudios de Impacto Ambiental en Humedales: Consideraciones para la elaboración de un manual con énfasis en el Corredor Fluvial Paraná-Paraguay. Buenos Aires, Argentina.

UNDRR (2022). Oficina de las Naciones Unidas para La Reducción de Riesgo de Desastres. GAR. Informe de Evaluación Global sobre Reducción de Riesgo de Desastres. Nuestro mundo en peligro: Transformar la gobernanza para un futuro resiliente. Ginebra. UNDRR.

USGS (2025). *EarthExplorer*. U.S. Department of the Interior. Recuperado de: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Wilches Chaux (1993). "La vulnerabilidad global". En: Los desastres no son naturales. La Red. ITDG. Colombia.



Esta obra se encuentra bajo Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0. Internacional. Reconocimiento - Permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas siempre y cuando reconozca y cite al autor original. No Comercial – Esta obra no puede ser utilizada con fines comerciales, a menos que se obtenga el permiso.