

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE HUMEDALES URBANOS INCIDENTALES COMO INDICADORES DE RIESGO EN INFRAESTRUCTURAS ECOLÓGICAS URBANAS
OPEN ACCESS

Cita: Datri, LA¹⁻²; Gatica, J³; Robertazzi, M¹⁻²; Lopez M⁴; Faggi, A² (2025) Análisis de vulnerabilidad de humedales urbanos incidentales como indicadores de riesgo en infraestructuras ecológicas urbanas RASADEP 13(1)

* Autor correspondiente:

leodatri@gmail.com

1. Adaptativa. Neuquén (8300)
2. Facultad de Ingeniería. UFLO (CABA)
3. Facultad de Ingeniería (FAIN). Universidad Nacional del Comahue, Neuquén
4. Laboratorio de Ecología de Bordes (LEB). UFLO. Cipolletti (Argentina)

Editor: Marcelo Gandini
(Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Azul)

Recibido: 31 de agosto de 2025

Aceptado: 30 de diciembre de 2025

Publicado: 30 de diciembre de 2025

Este es un artículo de acceso abierto, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite al autor original y la fuente.

Financiación: Los y las autoras expresan haber recibido financiación específica para este trabajo.

Conflictos de interés: Los autores han declarado no tener conflictos de interés.

Leonardo A. Datri¹⁻², José Gatica³, Mario Robertazzi¹⁻², Micaela Lopez⁴, Ana Faggi²

1. Adaptativa. Neuquén (8300)
2. Facultad de Ingeniería. UFLO (CABA)
3. Facultad de Ingeniería (FAIN). Universidad Nacional del Comahue, Neuquén
4. Laboratorio de Ecología de Bordes (LEB). UFLO. Cipolletti (Argentina)

RESUMEN

Los humedales urbanos incidentales se forman a través de actividades deliberadas debido a las decisiones de diseño, uso del suelo e infraestructura hídrica de los municipios. Este trabajo aborda el caso de un conjunto de microcuencas urbanas de la ciudad de Neuquén (Argentina) que desagua a una planicie de inundación, afectada por un proceso de urbanización, a través de modelos de simulación hidráulica y Sistemas de Información Geográfica (SIG). La hipótesis de trabajo sugiere que los humedales urbanos son indicadores de riesgo pluvioaluvional, pero al mismo tiempo son capaces de contrarrestar esta misma situación al proporcionar hábitats para importantes comunidades ecológicas y orientar acciones de planificación del uso del suelo. Debido a que los factores que contribuyen a su formación no son casuales sino causales, dependen muy especialmente de las variaciones climáticas y el proceso de urbanización. Por esa razón, los humedales configurados no son "accidentales", sino "incidentales". Nuestros resultados indican que los sistemas de humedales incidentales detectados representan una porción importante de la extensión de los ciclos hidrológicos dentro de las cuencas modificadas y principalmente son indicadores de riesgo ambiental. Los indicadores que incrementan al riesgo, más allá de la localización del proceso urbano, también se relacionan al tamaño de tres de las 10 cuencas, sus coberturas y el aumento del umbral de escorrentía como consecuencia de intervenciones y problemas de mantenimiento de obras de ingeniería. Concluimos que el análisis basado en datos espaciales de intervenciones deliberadas o programadas en las cuencas, favorece la predicción, protección y regulación, por medio de soluciones basadas en naturaleza a un costo menor que los esfuerzos de gestión ambiental e ingeniería tradicionales.

Palabras clave: riesgo ambiental – cambio climático – humedales accidentales – modelo hidráulico

ABSTRACT

Incidental urban wetlands are formed through deliberate activities resulting from municipal decisions regarding design, land use, and water infrastructure. This work addresses the case of a set of urban micro-watersheds in the city of Neuquén (Argentina) that drain into a floodplain, affected by an urbanization process, through hydraulic simulation models and Geographic Information Systems (GIS). The working hypothesis suggests that urban wetlands are indicators of pluvial-fluvial risk, but at the same time, they are capable of counteracting this very situation by providing habitats for important ecological communities and guiding appropriate land-use planning actions. Because the factors contributing to their formation are not random but causal, they depend especially on climate variations and the urbanization process. For this reason, the configured wetlands are not "accidental," but "incidental." Our results indicate that the detected incidental wetland systems represent a significant portion of the hydrological cycles within the modified basins and are primarily indicators of environmental risk. The indicators that increase the risk, beyond the location of the urban process, are also related to the size of three of the 10 basins, their land covers, and the increase in the runoff threshold as a consequence of interventions and maintenance problems of engineering works. Therefore, we conclude that analysis based on spatial data of deliberate or planned interventions in the watersheds favors prediction, protection, and regulation, through nature-based solutions at a lower cost than traditional environmental management and engineering efforts.

Keywords: environmental risk – climate change – accidental wetlands – hydraulic model

INTRODUCCIÓN

Los humedales urbanos incidentales, asociados en la literatura científica como accidentales, surgen como resultado de decisiones deliberadas en el uso del suelo y en el desarrollo de infraestructuras hídricas (Suchy et al., 2020; Childers et al., 2019; Palta et al., 2017). Se forman en zonas deprimidas, frecuentemente industriales, rurales, residenciales o comerciales, muchas veces abandonadas, donde se acumulan los flujos de escorrentía superficial e infiltraciones. Estos ecosistemas desarrollan suelos característicos de humedal y albergan comunidades vegetales asociadas (Palta et al., 2017). Por su extensión y distribución en los paisajes urbanos, representan una porción significativa del hábitat acuático, contribuyen a los ciclos hidrológicos y modulan los riesgos de inundación y aluviones. En términos funcionales, estos humedales pueden atenuar los efectos de la eutrofización antropogénica, generar hábitats para comunidades ecológicas clave, promover la biodiversidad y reducir el efecto isla de calor (Grundling et al., 2021; Maes, 2017; Mitsch et al., 2015). Además, se han convertido en indicadores eficaces de riesgo ambiental, en función de su localización dentro de las cuencas (Datri et al., 2022).

Las precipitaciones intensas, entendidas como eventos hidrometeorológicos extremos de alta magnitud, corta duración y baja recurrencia, generan peligros naturales como erosión superficial, movimientos en masa, inundaciones fluviales, aluviones y desvíos de los cauces (Rapacioli y Camps, 2019; Girardin et al., 2017). En este contexto, la vulnerabilidad de la población está determinada tanto por el incremento de estos eventos como por transformaciones en el uso del suelo, que alteran cabeceras de microcuencas, modifican la infiltración y afectan la pendiente (Datri et al., 2022; Salami, et al., 2017). Los humedales accidentales, en consecuencia, actúan como indicadores de cambio a escala de paisaje, especialmente en valles donde confluyen drenajes de cuencas aluvionales y donde el crecimiento urbano intensifica su presencia (Palta et al., 2016). El cambio climático está intensificando las condiciones meteorológicas extremas a nivel global, y particularmente en el norte de la Patagonia, aumentando tanto la frecuencia como la intensidad de precipitaciones (Datri et al., 2021; Boyero et al., 2021). Esto ha elevado la exposición y vulnerabilidad de las poblaciones urbanas, cuya expansión ha sido acelerada y sostenida en las últimas décadas (Naciones Unidas, 2018). En los valles de los ríos Limay, Neuquén y Negro, esta urbanización rápida ha provocado fuertes modificaciones en los ecosistemas locales (Rapacioli y Camps, 2019). Eventos de precipitaciones extraordinarias, superiores a la media anual y concentradas en menos de 36 horas, afectaron seriamente a estas ciudades en 2014 y 2016 (Zulaica y Vásquez, 2021; IPCC, 2014).

Ante este panorama, fortalecer la gestión del riesgo urbano mediante el conocimiento científico y el diseño de estrategias basadas en las funciones ecológicas de los remanentes de ecosistemas naturales en las matrices urbanas (Childers et al., 2019; Rosenzweig et al., 2018; Girardin et al., 2017), resulta en identificar funciones en las nuevas dinámicas hidrológicas urbanas. En la ciudad de Neuquén, los humedales accidentales proliferan en zonas de reciente urbanización, particularmente sobre los valles de los ríos Limay y Neuquén (Boyero et al., 2021). El presente trabajo analiza la dinámica de escorrentía en la parte alta de las microcuencas situadas sobre el talud del valle, cuyo drenaje confluye en la planicie de inundación urbanizada del río Neuquén. El objetivo es analizar el drenaje de microcuencas protegidas en sectores altos y de cauces temporarios en un entorno urbano y su efecto en la

formación de humedales accidentales por cambios de uso del suelo en su nivel de base, por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esto incluye la evaluación del desempeño de infraestructuras de manejo implementadas en el Área Natural Protegida Urbana (ANPU), que protege las cabeceras de microcuencas (Concejo Deliberante de Neuquén. Ordenanza N° 4538/90). Los cambios producidos por el desarrollo urbano y el cambio climático implican una revisión de las concepciones originales sobre las funciones ecológicas de las bardas (denominación regional del talud del valle), el oasis de regadío y su vegetación nativa (Datri et al., 2022).

Desde esta perspectiva, se busca identificar indicadores de riesgo en las nuevas tramas urbanas y proponer medidas de mitigación sustentadas en Infraestructuras Ecológicas Urbanas (IEU) (Brueder et al., 2023; Lagos et al., 2018; Childers et al., 2015) y en los servicios ecosistémicos (Jullian, 2018; Palta et al., 2016). Para valorar las funciones ecológicas de los humedales incidentales y evaluar el riesgo ambiental asociado, se diseñó una metodología orientada a la toma de decisiones, basada en una herramienta flexible y de complejidad media, que permite visualizar los resultados de manera comprensible mediante SIG (Burkhard y Maes, 2017; Buzai y García de León, 2015). Esta herramienta es aplicable a diversos casos en valles fluviales (Michaels, 2023; Muthusamy et al., 2019; Díaz et al., 2005).

Asimismo, se incorpora el concepto de servicios ecosistémicos, destacando su potencial para promover el uso sustentable de zonas agrestes y humedales urbanos (Jullian, 2018; Palta et al., 2016; Avalos y Chavero, 2019). En este campo, destacan las contribuciones de de Groot et al. (2010), Potschin y Haines-Young (2016, 2017), de Santos-Martin et al. (2018) sobre mapeo de servicios ecosistémicos; así como las experiencias latinoamericanas de los proyectos Cuitzmala (Avalos y Chavero, 2019) y Ecoser (Balvanera et al., 2020). Entre los modelos disponibles, el modelo de cascada representa el marco conceptual más operativo para estimaciones rápidas en contextos de conflicto ambiental, legal o social (Datri et al., 2022). Por ello, en este trabajo se discute la conceptualización misma de los humedales “accidentales” en el marco del urbanismo planificado y propone una estrategia metodológica que articula el análisis de vulnerabilidad y la identificación de humedales urbanos como indicadores de riesgo, en un marco que permite explorar alternativas de mitigación sustentadas en la infraestructura ecológica urbana.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Neuquén, sobre un área de refuncionalización rural a urbana sobre el valle del río Neuquén y taludes del valle (bardas) bajo la jurisdicción del ANPU Parque Bardas Norte (38°55'46,76"S - 68° 3'21,47"O). El área protegida preserva la cabecera de microcuencas que dirimen al sur la vertiente Sur al río Limay y al Norte del río Neuquén, con un desnivel aproximado de unos 80 metros desde la meseta en la parte superior al nivel de base en el valle fluvial (Figura 1). Las 10 cuencas analizadas comprenden un total de 421.78 ha, de las cuales un 74,90% se encuentran bajo el régimen de protección del ANPU.

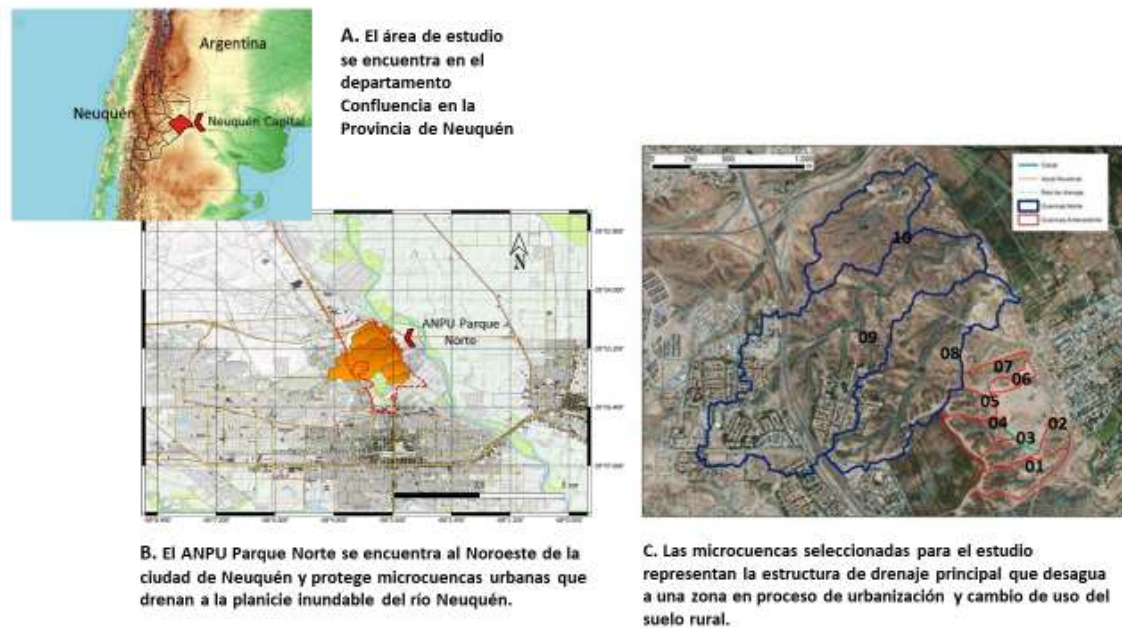


Figura 1. Área de estudio. A. Localización del Departamento Confluencia en la Provincia de Neuquén (Argentina; B. Localización del área estudio en la ciudad de Neuquén; C. Identificación de las microcuencas bajo estudio. (Fuente: elaboración propia sobre mapa base de Open Street Map)

Esta zona se caracteriza por un clima templado árido, con una temperatura media anual de 18°C y una precipitación anual de 200 mm, con una sequía estival, e intensas e irregulares lluvias en el otoño y primavera. El espacio estudiado comprende geomorfologías como taludes del valle, cárcavas, zona de mesetas, pedemontes y la planicie inundable del río Neuquén, en el nivel de base de las microcuencas. Esta última es la superficie sobre la que se desarrollan los humedales accidentales y formaban parte de un paisaje agrícola del tipo oasis de regadío de acequias, canales de drenaje y cortinas cortavientos de álamos. A lo largo del siglo XX configuraron un complejo y heterogéneo ecosistema, donde una variedad de cultivos de regadío (peras y manzanas) y de secano (pasturas), coexistieron con parches de bosque ripario de salicáceas euroasiáticas naturalizadas, vegetación palustre nativa y del monte xerófilo correspondiente a la región biogeográfica de Monte (Morello, 1995).

Obtención de datos

Los datos se organizaron y procesaron en un Sistema de Información Geográfica (SIG) con capas de información de base de la dinámica de un grupo de microcuencas preservadas por un ANPU. A partir de los datos allí reunidos se desarrolló un modelo de escurrimiento sobre un sector urbano en desarrollo de la planicie inundable del río Neuquén. Se utilizaron los programas ArcGis, HEC-RAS (modelación hidráulica) y QGIS (Chow et al., 1994). Para la delimitación de las cuencas se utilizó el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) desarrollado por la Dirección de Sensores Remotos y la Dirección de Geodesia del Instituto Geográfico Nacional (IGN), a partir de vuelos aerofotogramétricos llevados a cabo entre los años 2011 y 2016. Los MDE tienen una resolución espacial de 5 m y una precisión vertical submétrica, que los convierte en los únicos productos en su categoría en ser distribuidos en forma libre y gratuita (IGN: <https://www.ign.gob.ar/category/tem%C3%A1tica/geodesia/mde-ar>).

El mismo SIG fue utilizado como herramienta de evaluación y mapeo del riesgo ambiental y de la vulnerabilidad de la población aguas abajo del ANPU (Renda et al., 2017). De esta manera se obtuvieron mapas que permiten estimar la localización y la relación de la dinámica de las microcuencas, los humedales accidentales y la población urbana.

Se delimitaron 10 cuencas con el objetivo de analizar los drenajes generales que interfieren en la zona de estudio sobre la planicie de inundación del río Neuquén, afectada por la descarga de estas microcuencas. Las cuencas C01, C02, C03, C04, C05, C06 y C07 fueron tomadas de estudios previos (Dufilho et al., 2018). Luego se definieron las tres cuencas mayores al Norte del área de estudio (trazos azules), que representan el mayor aporte pluvioaluvional a la planicie de inundación urbanizada del río Neuquén, y configuran una de las mayores fuentes de riesgo de esa población. Las cuencas que afectan directamente con su dinámica a un nuevo sector urbano y cuencas lindantes 08, 09 y 10 y sus redes de drenaje se obtuvieron por medio de SAGA (Terrain Analysis / Hydrology / Catchment Area) y se digitalizaron ajustando con los puntos de referencia (Figura 1C).

Una vez delimitadas las cuencas que afectan a la zona de estudio, se realizó la modelación hidrológica considerando información de intensidad y lámina acumulada de la precipitación de diseño para un período de retorno de 100 años. El método racional permitió estimar el caudal máximo de la crecida, a partir de la intensidad de la precipitación, del área de la cuenca y de un coeficiente de escorrentía "C" que depende de la vegetación, suelo y pendiente. Luego se construyó un modelo empírico para establecer el umbral de escorrentía a través de un número hidrológico o número de curva (NC), que transforma la precipitación total en precipitación neta o efectiva. La determinación de los valores de NC se realizó teniendo en cuenta el tipo de vegetación y la condición hidrológica, los grupos hidrológicos de suelo fueron determinados en base a la escorrentía, valores de pendiente y unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio.

Por último, todas las variables comprendidas en el estudio fueron ponderadas de acuerdo a criterios adaptados del modelo de cascada de servicios ecosistémicos (Potschin y Haines-Young, 2016; De Groot et al., 2010). Básicamente los modelos teóricos y prácticos difieren en detalle y complejidad y la mayoría de los marcos conceptuales intentan ilustrar de alguna manera la naturaleza transdisciplinaria del paradigma utilizando el concepto de servicio para vincular las representaciones de estructuras y procesos biofísicos con los valores humanos y el bienestar de las personas, incluyendo en muchos casos la forma en que operan los procesos de toma de decisiones. Por esta razón aquí se planteó un modelo de análisis que promueve una herramienta de evaluación rápida basada en variables espaciales y funciones de los ecosistemas, de relativa facilidad. Este caso parte de la identificación de un proceso local afectado por variables de mayor escala (cambio climático y uso del suelo) con implicancias en la gestión del riesgo, el espacio protegido y la población urbana. Por ello se ponderaron en base a medidas obtenidas del SIG y observaciones de campo un subconjunto de las interacciones entre las estructuras urbanas, biofísicas y los procesos que organizan la dinámica de humedales accidentales. Estas interacciones sustentan la capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos y una visión para la gestión del problema (Tabla 1).

Tabla 1. Variables de las estructuras biofísicas y los procesos de los ecosistemas que organizan la dinámica de humedales accidentales. Fuentes de datos y dimensiones

ID	Variable	Unidades empleadas	Nivel de influencia como regulador de riesgo
Alternativas de Manejo			
1	Deforestación	% de cobertura	Adoptado de Datri et al. 2022: 23 %
2	Restauración vegetal	Plantas establecidas por superficies degradadas	Medido a campo: 5 %
3	Obras de arte	Nº de intervenciones sobre cauces	Valor relativo a tramos regulados sobre cauces de mayor recorrido y humedales accidentales (SIG)
Estructuras biofísicas			
4	Cobertura vegetal	% de cobertura estimado de series temporal 2016-2020 de NDVI	Valor relativo a toda el área del ANPU en el estado actual (SIG, publicado en Datri et al., 2022)
5	Superficie de las cuencas	ha	Valor relativo a la cabecera de las cuencas en el ANPU en relación a toda el área de estudio (SIG-Modelo hidráulico)
6	Pendiente promedio de las cuencas	m/m	Valor relativo al promedio de cuencas (SIG-Modelo hidráulico)
7	Longitud del curso principal	km	Valor relativo establecido sobre la base de la relación entre la media y el valor de mayor recorrido hasta el humedal accidental (SIG-Modelo hidráulico)
8	Longitud del curso de mayor recorrido	m	Valor relativo establecido sobre la base de la relación entre la media y el valor de mayor recorrido hasta el humedal accidental (SIG-Modelo hidráulico)
9	Tiempo de concentración	h	Valor relativo establecido sobre la base de la relación entre la media y el valor de mayor tiempo de concentración en el humedal accidental (SIG-Modelo hidráulico)
10	Umbral de esorrentía	0 - 100	Adoptado 80
Servicios ecosistémicos			
11	Control de la erosión	Valor relativo	Valor relativo a la media de las variables 1,2,3,4,5
12	Regulación de caudales	Valor relativo	Valor relativo a la media de las variables 6,7,8
13	Acumulación de agua	Valor ponderado	Valor relativo a la media de las variables 9, 10 y Profundidad (m) 1= 1,5 m (SIG-Modelo hidráulico)
Beneficio			
	Mitigación del riesgo pluvioaluvional	Valor relativo ponderado	Evaluación de ítems 1 a 13

Variables identificadas de valor para la mitigación del riesgo (solapamiento de estructuras urbanas y estructuras biofísicas obtenidas del SIG)			
	Canales viales urbanos	Conceptual (alto, medio, bajo)	Función conductora y de almacenamiento de agua (SIG-Modelo hidráulico).
	ANPU (cabecera de microcuencas)	Conceptual (alto, medio, bajo)	Función reguladora de caudales y escorrentía limitada por la condición natural de la cobertura vegetal (SIG-Modelo hidráulico).
	ANPU (Cauces pluvioaluvionales)	Conceptual (alto, medio, bajo)	Función reguladora del caudal condicionada por el estado de conservación general (SIG-Modelo hidráulico)
	Cauces fluviales	Conceptual (alto, medio, bajo)	Función reguladora por evacuación de aguas condicionada por el nivel del río y conectividad (SIG)
	Espacios “no impermeabilizados” en trama urbana	Conceptual (alto, medio, bajo)	Remantes de chacras urbanizadas condicionadas por el factor de ocupación del suelo establecido por las autoridades urbanas. Humedales accidentales incorporados como espacios verdes (SIG)

Información y calibración del modelo hidráulico

Para la modelación hidráulica se utilizó el MDE del IGN anteriormente citado. Como dicho MDE no representa los azudes construidos recientemente, se generó un nuevo modelo transformado, incluyendo los azudes. Se evaluaron dos escenarios, el primero de ellos corresponde a la derivación de los caudales de las cuencas C03 y C04 por un canal con dirección al SE, restituyendo la escorrentía hacia la cuenca C02 (Figura 2). El segundo escenario representa la condición más desfavorable, en el cual los caudales no son contenidos por las cuencas C03 y C04. Esta situación trata de simular una falta de mantenimiento del canal.

Para determinar la cota de inundación con un periodo de recurrencia de 100 años se utilizó el Software HEC-RAS versión 5.0.7 desarrollado por el Hydrologic Engineering Center, dependiente del U.S Army Corp Of Engineers (HEC-HMS, 2004). Esta herramienta cuenta con una extensión que permite simular el flujo de agua combinando modelos 1D/2D, así como totalmente 2D. HEC-RAS ofrece la posibilidad de visualizar mapas de zonas inundadas, así como la animación del flujo de agua cuando acontece la inundación. La modelación hidráulica bidimensional permite un mayor acercamiento, y ajuste a la realidad en la determinación de planos de inundación, debido a que el análisis unidimensional es solo aplicable para un estado de flujo laminar que se da en canales trapezoidales. Como parte del proceso de modelado se realizó un mapeo del parámetro de n de Manning (*Add Manning's value*), se discretizaron los parámetros de rugosidad en función de la clase textural y geoformas presentes en el área del mallado (Figura 1 – Anexo técnico).

Mediante la utilización del SIG ArcGIS, se delimitó la cuenca que afecta el área bajo estudio. Luego, para inferir patrones de comportamiento, se determinan sus principales características morfométricas (Tabla 1 – Anexo técnico). Como la precipitación es el problema más incierto en el diseño aluvional, se escogieron las precipitaciones de la estación meteorológica de Neuquén por ser la más próxima al área de estudio. Los valores de precipitación acumulada para 1 hora (P1h) y 24 horas (P24h) de duración para los períodos de retorno o recurrencias (TR) de 100 años (Tabla 2 – Anexo técnico).

En relación a la evaluación de sus efectos en la dinámica hidrológica de la nueva trama urbana desarrollada sobre el nivel de base de las microcuencas, se realizó una lista de variables que operaran en la identificación de humedales accidentales. A cada una de ellas se les asigna un valor relativo de la importancia en la contribución al desarrollo e intensidad con la que se desarrolla el humedal accidental y a la resiliencia del ecosistema que lo absorbe. De esta manera se obtuvo una función de la regulación del riesgo por parte de diversos componentes de las microcuencas y su variabilidad espacial. La modelación y mapeo permite determinar los indicadores de riesgo por medio de la identificación de variables espaciales que favorezcan la toma de decisiones de medidas de mitigación.

Datos complementarios

El caudal tomado para definir la superficie inundable del río Neuquén es de aproximadamente 600 m³/s con una frecuencia estimada de 10 años contabilizados desde la inauguración del complejo hidroeléctrico Cerros Colorados aguas arriba (Autoridad de Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro - AIC). Esta última fue vectorizada a partir de la combinación de bandas en falso color compuesto de una escena Landsat 5 correspondiente a una inundación que superó esos caudales en julio de 2006. Junto con los vectores de urbanización obtenidos de la base de datos IDERA (<https://www.idera.gob.ar/index.php/servicios/otras-ide-y-visualizadores>), se pudo construir el mapa de vulnerabilidad y de riesgo de acuerdo al Manual para la Elaboración de Mapas de Riesgo (Renda et al., 2017). Cada variable que permitió modelar la distribución de humedales accidentales y la superficie con la que las inundaciones alcanzan a cubrir con relativa frecuencia la superficie a urbanizar, se ponderó como variable que opera en el riesgo.

RESULTADOS

Datos hidráulicos

Se estimó una recurrencia de inundaciones del río Neuquén de más de 900 m³/s a partir de su regulación distribuidos en cinco periodos de potamofase (cinco años) que suman un total de 80 días anegados (nivel aproximado 3.5 metros). Los eventos extremos de inundación superiores a cotas de 3.5 metros se redujeron más de un 60% en el periodo comprendido entre 1959 y 2023, desde la regulación del río por el complejo hidroeléctrico Cerros Colorados en el año 1982 (Figura 2).

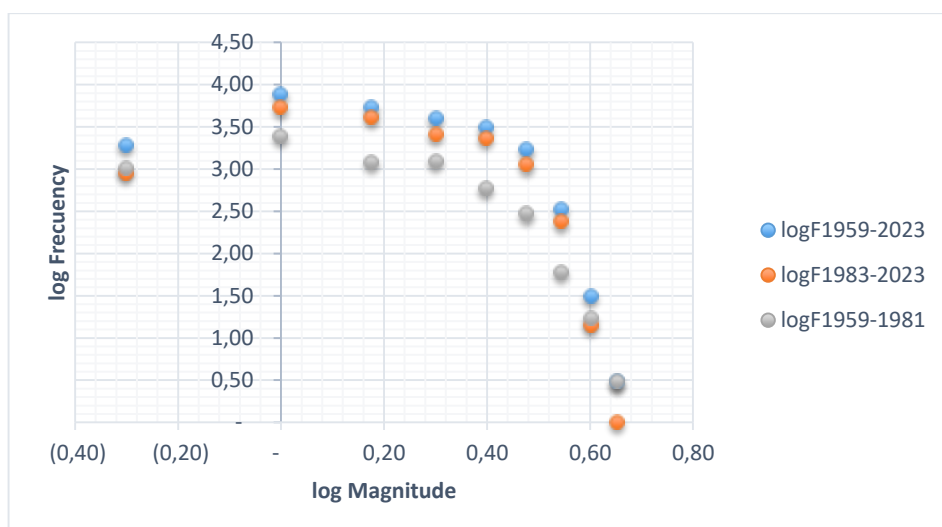


Figura 2. Gráfico log - log que relaciona la magnitud de fluctuaciones diarias del nivel del río Neuquén y la frecuencia (1959 - 2023). Elaboración propia en base a datos de la Base de Datos Hídricos de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

En forma paralela la modelación hidráulica de las microcuencas que desaguan a la planicie inundable, activadas especialmente por el régimen de precipitaciones arrojaron diversos resultados. El tiempo de concentración (t_c) resultante a partir del promedio entre las tres ecuaciones mencionadas para el área de estudio, arrojó cierta variabilidad entre los métodos empleados, que van de promedios de 0.13 a 0.97 horas entre cuencas (Tabla 3 - Anexo técnico).

Algunas de las cuencas presentan escorrentía encauzada, con erosión en surco y erosión laminar, que afectan indirectamente con su dinámica hídrica a las instalaciones previstas. El Método Racional permitió estimar el caudal máximo (no todo el hidrograma) de la crecida para una recurrencia de 100 años (Q_{Tr100}). Se presentan los caudales de diseños obtenidos para un periodo de retorno de 100 años (Tabla 2).

Tabla 2. Síntesis de parámetros y caudal de diseño para la cuenca con superficie <120 ha.

Cuenca	Tc Promedio (h)	Área (ha)	I100(mm/h) $t_c < 1h$	NC	C Tr100	Q Tr100 (m ³ /s)
C01	0.32	10.12	201.82	80	0.49	2.61
C02	0.16	3.53	288.19	80	0.49	1.30
C03	0.13	4.53	313.90	80	0.49	1.70
C04	0.15	7.86	292.47	80	0.48	2.81
C05	0.13	5.54	323.60	80	0.49	2.24
C06	Cuenca no encauzada					
C07	0.24	5.94	232.95	80	0.49	1.81
C08	0.66	66.54	110.61	80	0.49	9.41
C09	0.97	126.99	91.15	80	0.51	HEC HMS
C10	0.54	34.98	122.96	80	0.51	5.14

Por las métricas obtenidas, las cuencas se evalúan como de morfologías alargadas, por lo que están menos sujeta a crecientes que otras de igual área. Los cauces que las componen se encuentran bien definidos, con procesos de erosión sobre el pedimento. Los procesos erosivos de las cuencas son acentuados por suelos poco consistentes dejando en algunos casos al descubierto la roca de base. Los cauces sobre los sectores bajos cambian hacia cauces difusos debido a un cambio brusco de pendiente. Las cuencas presentan fuertes pendientes, con valores promedio próximos al 30%, y con una pendiente mínima del 1%. Los parámetros morfométricos (Tabla 3) principales que se obtienen de la cuenca hidrográfica son la Superficie (S), el Perímetro (P) y la Pendiente media de la Cuenca (PeC).

Tabla 3. Parámetros físicos de forma y pendiente de la cuenca

Cuenca	Superficie (ha) Variable 5	Perímetro (km)	Pendiente media de la Cuenca (%) Variable 6
C01	10.12	0.10	24
C02	3.53	0.04	15
C03	4.53	0.05	36
C04	7.86	0.08	30
C05	5.54	0.06	36
C06	2.50	0.03	16
C07	5.94	0.06	23
C08	66.54	4.88	23
C09	126.99	7.15	21
C10	34.98	3.11	25

En la tabla 4 se resumen los parámetros de la red hidrográfica y morfométricos de la cuenca utilizados para el cálculo del tiempo de concentración (T_c).

Tabla 4. Parámetros utilizados para estimar tiempo de concentración

Cuenca	(L) Longitud del curso principal [km] Variable 7	(S) Pendiente del curso principal [m/m]	(L) Longitud del mayor recorrido de flujo [m] Variable 8	(S) Pendiente media de la cuenca [%]	NC
C01	546	8	738	24	80
C02	181	10	331	15	80
C03	184	10	335	36	80
C04	285	13	469	30	80
C05	239	15	386	36	80
C06	Cuenca no encauzada				
C07	387	9	517	23	80
C08	1879	6	2007	23	80
C09	2993	6	3208	21	80

C10	1116	7	1294	25	80
-----	------	---	------	----	----

De la modelación hidráulica se observa que las mayores láminas de inundación se encuentran al norte del área de estudio, sobre el área de chacras llegando incluso al límite de la circunvalación de Neuquén - Cipolletti. Las áreas nuevas de loteo y en particular las calles delimitadas se solapan con las líneas de la escorrentía generadas por caudales en eventos extremos (Figuras 3 y 4).

Los azudes construidos en el ANPU no lograrían contener un caudal estimado en un periodo de



Figura 3. Altura de la lámina de escorrentía para el primer escenario (medida en metros)

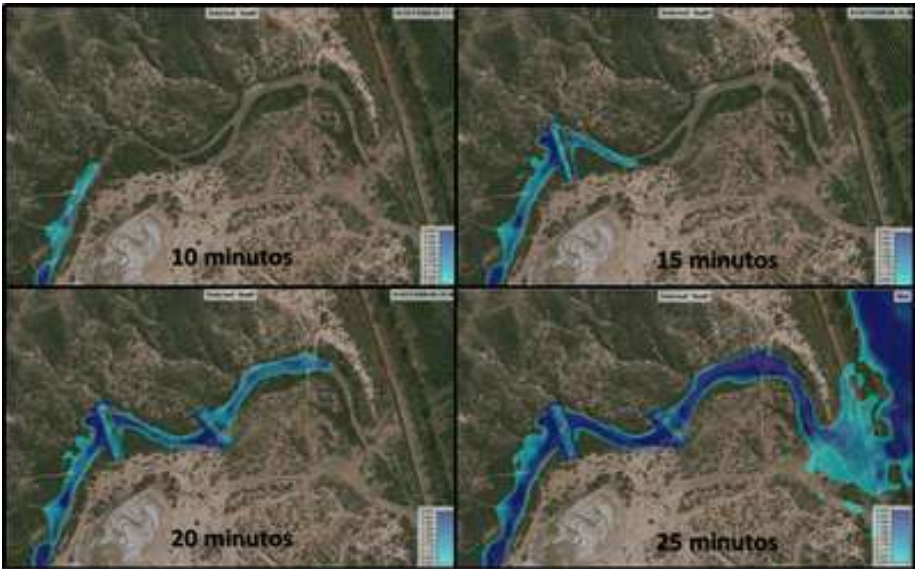


Figura 4. Altura de la lámina de escorrentía sobre los azudes

recurrencia de 100 años, siendo superado por la lámina de escorrentía en el caudal pico

calculado (figura 4). En el sector Sur, donde existe una marcada deforestación como consecuencia del desarrollo de actividades deportivas, se identifican láminas de inundación sobre la zona afectada. La escorrentía generada por las cuencas C03 y C04 son derivadas al área de la cuenca C02, siendo los excesos restituidos sobre un canal de desagüe que vincula con el río Neuquén, sin la conformación de humedales accidentales. El MDE no logra representar con precisión dichos canales, sin embargo, este modelo puede indicar las consecuencias de un mal mantenimiento de dicho canal.

El resultado del modelo propuesto para el segundo escenario permite estimar las consecuencias producto de una deficiencia en el mantenimiento de los canales de desagüe. El sector mantiene las mismas condiciones de inundación que el escenario 1 (Figura 5).

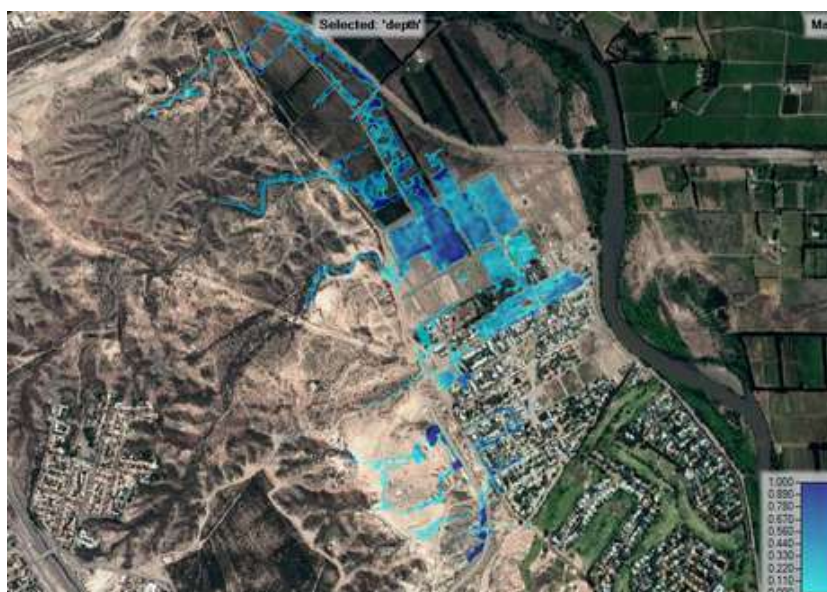


Figura 5. Altura de la lámina de escorrentía para el segundo escenario (medida en metros)

Las escorrentías generadas por las cuencas C03 y C04 producen una inundación parcial del área deforestada para actividades deportivas. La lámina de inundación sobre el sector sur del Barrio Rincón de Emilio mantiene su extensión, sin embargo, las alturas de lámina son menores que las simuladas en el primer escenario. El modelo hidráulico permite obtener los valores de velocidad de escorrentía medidos en metros por segundo. Las velocidades observadas son superiores a 1,5 m/s en los cauces del frente de barda, disminuyendo a valores de 0,2 m/s en los sectores de chacras (zona de humedales accidentales en la actualidad) y sobre el área ya urbanizada y densamente poblada. Los mayores valores de velocidad se deben a la escorrentía encauzada sobre pendiente mayores al 6%, lo cual permite asegurar un potencial erosivo. El mapa de riesgo se realizó considerando escorrentía encauzada sobre pendientes mayores al 6% y velocidades admisibles y no admisibles según Fischenich (2001) (0,60 m/s). Como consecuencia de esto y fusionando las capas de información modelo hidráulico, red de drenaje y planicie de inundación se obtuvo el contexto de amenazas. Con las capas de infraestructuras, canales viales y superficie urbana se obtuvo el mapa de

vulnerabilidad en el contexto de amenazas. Finalmente combinando las capas de vulnerabilidad y amenazas, se obtuvo el mapa de riesgo (Figura 6).

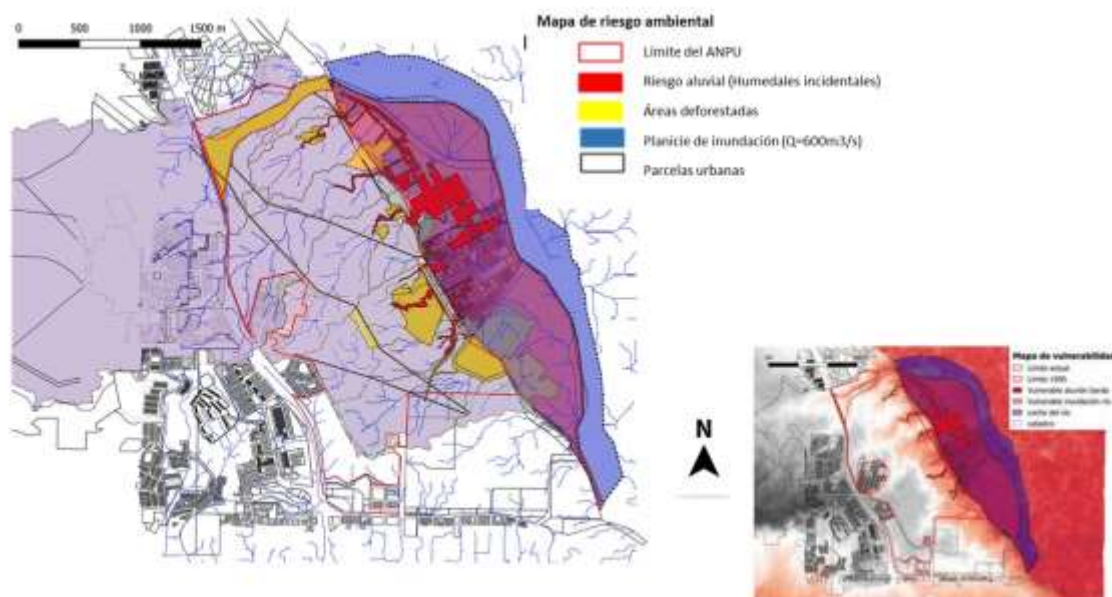


Figura 6 Mapas de riesgo y vulnerabilidad según guía de mapeo de riesgos de Renda (2017) estimados sobre escenarios de aluvión para tormentas de diseño con recurrencia de 100 años y líneas de inundación para recurrencia de 10 años de 600 m³/s (AIC, 2012)

Modelo de ponderación de funciones ecosistémicas

El modelo de cascada aplicado arroja valores de ponderación bajos en general. Este valor refleja las condiciones naturales del área, caracterizadas por una escasa cobertura vegetal, pendientes pronunciadas y los efectos de la deforestación. No obstante, los valores de este resultado se ven compensados parcialmente por el hecho de que algunas microcuencas cuentan con figuras de protección que favorecen una mayor retención de agua, a pesar de los impactos puntuales detectados. Los valores que ponderan servicios ecosistémicos varían dependiendo de la variable funcional evaluada (Tabla 5). La regulación de caudales es la más seriamente afectada, lo que explica la formación de humedales accidentales en el área deforestada del ANPU y en los niveles de base sobre el área urbana. El beneficio global es bajo, especialmente si se tiene en cuenta que las cabeceras de cuenca están protegidas.

Tabla 5. Variables del sistema para un escenario TR=100 años. Los valores de las variables de estados se estandarizaron según una escala entre 0 y 1 para poder reportar los resultados de la figura 7.

ID	Variable	Unidades empleadas	Valor asignado
1	Deforestación	% de cobertura	0.77*
2	Restauración vegetal	Plantas establecidas por superficies degradadas (observación de campo)	0.05
3	Obras de arte	Nº de intervenciones sobre cauces	0.30
4	Cobertura vegetal	% de cobertura estimado de series temporal 2016-2020 de NDVI	0.49
5	Superficie de las cuencas	ha	0.65

6	Pendiente promedio de las cuencas	m/m	0.26
7	Longitud del curso principal	km	0.29
8	Longitud del curso de mayor recorrido	m	0.32
9	<i>Tiempo de concentración</i>	h	0.37
10	<i>Umbral de escorrentía</i>	0 - 100	0.8
11	<i>Control de la erosión</i>	Valor relativo	0.42
12	<i>Regulación de caudales</i>	Valor relativo	0.29
13	<i>Acumulación de agua</i>	Valor ponderado	0.59
Mitigación del riesgo pluvioaluvional		Valor relativo ponderado	0.43
<i>Canales viales urbanos</i>		Conceptual (alto. medio. bajo)	Alto
<i>ANPU (cabecera de microcuencas)</i>		Conceptual (alto. medio. bajo)	Alto
<i>ANPU (Cauces pluvioaluvionales)</i>		Conceptual (alto. medio. bajo)	Medio
<i>Cauces fluviales</i>		Conceptual (alto. medio. bajo)	Medio
<i>Espacios "no impermeabilizados" en trama urbana</i>		Conceptual (alto. medio. bajo)	Alto

* El valor 0 representa la mayor afectación de vegetación y 1 la menor o nula. A los fines de representación gráfica en la figura 7 se presenta como D=1-0,77

DISCUSIÓN

La evaluación y análisis del riesgo han tenido un amplio desarrollo en el ámbito de las inundaciones, especialmente mediante el uso de herramientas de SIG (Renda et al., 2017). Este trabajo propone una estrategia metodológica que articula el análisis de vulnerabilidad y la identificación de humedales urbanos incidentales como indicadores de riesgo, en un marco que permite explorar alternativas de mitigación sustentadas en la Infraestructura Ecológica Urbana (IEU) (Childers et al., 2019; Lagos et al., 2018). En un contexto de cambio climático caracterizado por el incremento en la frecuencia e intensidad de eventos de precipitación extrema, como los ocurridos en 2014, 2016 y 2021; los espacios verdes remanentes en entornos urbanos adquieren un nuevo valor funcional, especialmente en relación con la gestión del riesgo (IPCC, 2014; Zulaica y Vásquez, 2021; Datri et al., 2021). Los humedales incidentales expresan una condición de riesgo y el análisis de las variables que lo explican abarcan a las mismas que establecen la evaluación de las amenazas en una estrategia por mitigarlos.

Los resultados obtenidos permiten discutir la aplicabilidad de indicadores basados en la identificación de humedales urbanos incidentales en contextos de urbanización planificada, utilizando insumos provenientes de datos espaciales y su modelación hidrológica. Esto refuerza la necesidad de integrar las dinámicas hídricas y las escalas de cuenca en el planeamiento urbano, tal como ya lo propusieran Childers et al. (2019) y recientemente retomado por Palta et al. (2016, 2017).

El modelo conceptual de cascada, adaptado de Haines-Young y Potschin (2010), permite distinguir entre estructuras, procesos y funciones ecológicas, siendo especialmente útil para interpretar el origen y comportamiento de humedales emergentes en áreas urbanizadas sobre microcuencas aluvionales. La interacción entre la estructura biofísica y los procesos hidrológicos condiciona la capacidad del ecosistema para regular el escurrimiento, amortiguar sus efectos y sostener funciones críticas en el ciclo del agua (de Groot, 2010; Palta et al., 2016).

Estos atributos, mensurables mediante indicadores espaciales y ecológicos, reflejan no sólo el estado del ecosistema, sino su papel funcional dentro del paisaje urbano.

En este marco, la heterogeneidad espacial, particularmente a escalas de cuenca y paisaje, se presenta como una propiedad emergente crítica para el mantenimiento de algunos servicios ecosistémicos en entornos urbanos (Maes, 2017; Grundling et al., 2021). Para ello, fue necesario considerar variables naturales, técnicas y urbanas (Salami et al., 2017), que permitieron delinear indicadores de mitigación y prevención ante desastres hidrológicos, apoyados en mapas basados en SIG (Datri et al., 2022; Michaels, 2023).

Consideramos que el primer paso en la planificación urbana debe ser el reconocimiento de las características ecológicas no-terrestres, de aquellos ecosistemas acuáticos o híbridos que, como los humedales urbanos, poseen funciones que exceden solo su superficie. Esta perspectiva resulta clave, dado que la multifuncionalidad de los humedales, aunque no siempre traducida directamente en servicios ecosistémicos valorizables, puede constituir tanto una solución como un desafío ambiental, dependiendo del contexto urbano en que se inscriben (Palta et al., 2017; Balvanera et al., 2020; Jullian, 2018).

En este trabajo, se sostiene que los humedales urbanos aquí analizados no son “accidentales” en el sentido de azarosos, sino “incidentales”: son consecuencia directa de decisiones deliberadas de urbanización en planicies inundables y sistemas aluvionales. Su actual configuración espacial responde a intervenciones sobre el suelo, la sistematización de cauces y la canalización de escorrentías, lo cual la encierra dentro de tramas viales, canales o suelos removidos tanto de la nueva trama urbana como de la propia ANPU. Los valores de los umbrales de escorrentía debidos a las obras realizadas en los cauces de las cuencas 8, 9 y 10 principalmente y la acumulación del agua representan indicadores elevados de riesgo. Las características propias de la cuenca (tamaño) y de su cobertura vegetal, típica de zonas áridas, implican un riesgo de orden natural, lo que potencia el riesgo asumido, urbanizando el nivel de base de las cuencas. Este carácter incidental tiene implicancias para la planificación porque no se trata de eventos espontáneos, sino del emergente de procesos antrópicos predecibles y modelables (Figura 7). Cabe destacar que la ponderación general de 0,43 indica un riesgo moderado, pero altamente dependiente del contexto de manejo del ANPU y del caudal del río.

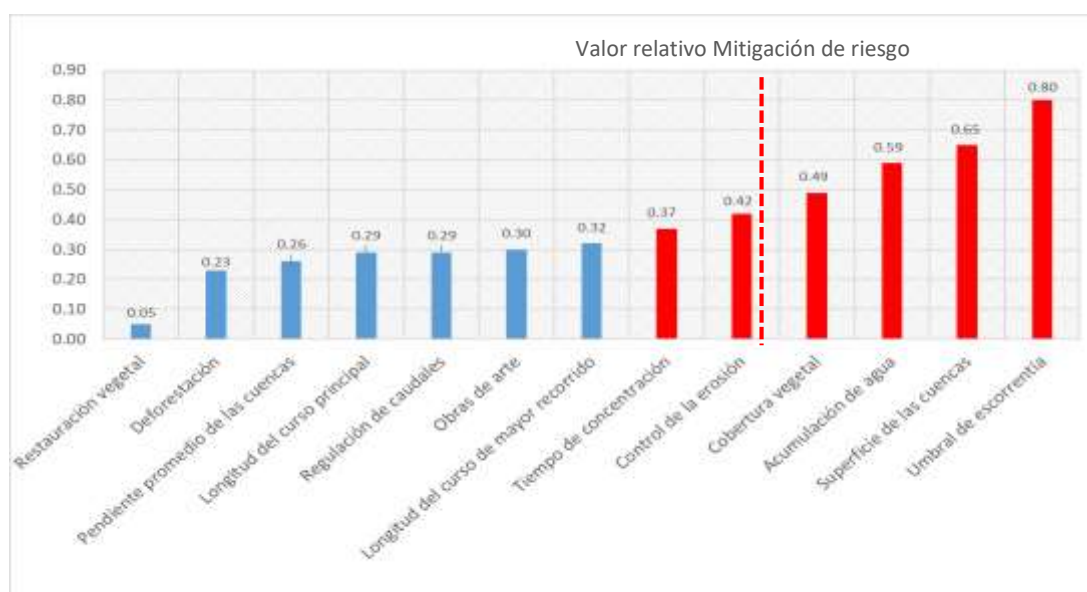


Figura 7. Valores relativos y ponderados de contribución de las variables de manejo y estructura biogeofísicas a la generación de servicios ecosistémicos de regulación pluvioaluvional. En rojo se señalan los valores que superan o aproximan al valor de referencia de riesgo de 0,43.

Así, la urbanización y metropolización avanzan sobre zonas inestables bajo presiones extraecológicas, como el valor de mercado, la disponibilidad de tierra y la demanda habitacional. En este contexto, los servicios ecosistémicos deben ser considerados no sólo como bienes cuantificables, sino como herramientas para reconectar el diseño urbano con los procesos ecológicos subyacentes (Rosenzweig et al., 2018; de Groot et al., 2010; Potschin y Haines-Young, 2017). El desajuste entre las escalas temporales de urbanización y las del funcionamiento ecosistémico genera escenarios de vulnerabilidad que requieren una reconceptualización de las funciones sociales, ecológicas e hidrológicas de los relictos naturales urbanos (Datri et al., 2022). La noción de IEU se presenta como una alternativa integradora que supera las visiones fragmentadas entre espacios verdes recreativos, drenajes, humedales y áreas naturales, promoviendo su articulación en un sistema funcional que aborde el riesgo desde una lógica resiliente y multifuncional (Brueder et al., 2023; Childers et al., 2015; Lagos et al., 2018). En esta línea, se valora conceptualmente el rol de los servicios ecosistémicos más como funciones ecológicas urbanas e insumos para ajustar el diseño urbano (Childers et al., 2015), mejorar la red de drenaje (Rosenzweig et al., 2018; Mitsch et al., 2015) y fortalecer la preparación ante emergencias (Brueder et al., 2023); que como valor económico.

Por otro lado, nuestro modelo hidráulico detectó superposiciones entre patrones de escurrimiento, zonas de inundación y las nuevas tramas urbanas sobre la planicie aluvional del río Neuquén, en el nivel de base de las microcuencas. Del análisis de variables (ver Tabla 5) se desprende que, condiciones como un bajo nivel de deforestación, adecuados tiempos de concentración y equilibrio hidrológico mejoran el drenaje, siempre que los niveles del río no superen ciertos umbrales. La rehabilitación de la cobertura vegetal en microcuencas emerge, así como una estrategia indispensable para la protección de funciones ecosistémicas como el control de la erosión o la regulación hídrica. El diseño adecuado de canales viales urbanos, la planificación de densificación compatible con IEU y el reconocimiento explícito de los humedales incidentales dentro de las planicies aluvionales pueden contribuir a la reducción del riesgo, aunque no eliminarlo por completo debido a la inadecuada elección de localizaciones urbanas previas.

Por último, la metodología empleada permitió obtener, de forma ágil y eficaz, una visión integrada de las variables que configuran el riesgo hidrológico en relación con la actividad antrópica, generando insumos valiosos para la toma de decisiones basadas en evidencia científica. Esta perspectiva permite comprender cómo patrones, relaciones y configuraciones espaciales derivan de la interacción entre el ambiente y la sociedad en contextos urbanos. La propuesta de reemplazar el término “accidental” por “incidental” no es meramente semántica: implica una reconceptualización que reconoce el papel de las acciones humanas deliberadas sobre dinámicas hidrológicas conocidas. Este cambio no solo afecta la estructura ecológica del humedal, sino que redefine su función social y territorial. El caso de la transformación del destino del Área Natural Protegida Urbana (ANPU) ilustra con claridad cómo el cambio de uso del suelo, de natural a urbano-recreativo, genera un aumento de la escorrentía superficial,

dada la modificación de la cobertura vegetal, la pendiente y la infiltración del suelo, afectando directamente los sectores más deprimidos de la ciudad en eventos de lluvias intensas.

CONCLUSIONES

Este trabajo identificó la presencia de humedales incidentales como resultado del solapamiento entre los procesos de urbanización y las planicies de inundación, así como las vías de drenaje de microcuencas en sectores urbanos. El análisis de su dinámica evidencia que el desarrollo de nuevas estructuras urbanas sobre zonas de baja densidad poblacional ha reducido significativamente la capacidad adaptativa y la resiliencia urbana, al ocupar áreas de regulación hídrica natural y al carecer de un manejo adecuado de las cuencas altas.

En este contexto, las funciones ecológicas y geomorfológicas del Área Natural Protegida Urbana (ANPU) emergen como elementos centrales en la regulación de los humedales incidentales que se forman a partir de los cauces aluvionales que drenan cada microcuenca urbanizada. Estos remanentes naturales dentro de la matriz urbana se constituyen en la principal fuente de servicios ecosistémicos de regulación hídrica, capaces de atenuar el riesgo asociado a eventos de lluvias intensas y a la descarga aluvional recurrente en los sectores ubicados aguas abajo.

Si bien este riesgo puede ser reducido mediante estrategias de manejo, no puede ser completamente eliminado debido a la propia naturaleza del proceso urbano ya consumado, los caudales fluctuantes del río Neuquén, la alteración de cauces secundarios y la modificación de los patrones naturales de escurrimiento. Por ello, la efectividad de la mitigación dependerá de mantener o restaurar la funcionalidad de los humedales incidentales y de adecuar el diseño urbano a las dinámicas fluviales y pluvioaluvionales, a través de infraestructuras que respondan a esta realidad.

Aunque la urbanización en planicies inundables no es deseable desde una perspectiva ecológica y de gestión del riesgo, este trabajo sostiene que, ante el hecho consumado, es imprescindible avanzar hacia una adecuación de la Infraestructura Ecológica Urbana (IEU) al funcionamiento del sistema hidrológico en su conjunto. Esta adaptación debe integrarse al plan de manejo del ANPU, al diseño de calles, espacios verdes y edificaciones de las nuevas urbanizaciones situadas en sectores vulnerables. Este concepto más amplio que el de espacios verdes y las formas tradicionales de diseño del drenaje urbano, permite un abordaje espacial, centrado en preservar o simular las dinámicas ecohidrológicas (Childers et al., 2019; 2015)

La herramienta desarrollada, basada en SIG y orientada a la detección de humedales incidentales, ofrece una perspectiva de paisaje urbano multifuncional, útil para la identificación de variables del sistema que no solo los identifica, sino que también configuran elementos de análisis de amenazas, la evaluación de riesgos y la formulación de escenarios prospectivos. A través de la modelación hidrológica, el análisis de indicadores de drenaje y clima, y el mapeo de escenarios, es posible diferenciar entre eventos accidentales, producto de datos insuficientes o eventos fortuitos, y procesos incidentales, originados por transformaciones previsibles en dinámicas ecológicas conocidas y documentadas. Las variables biofísicas, a su vez, ofrecen métricas que reducen la subjetividad en la valoración de los servicios ecosistémicos.

Esta distinción conceptual no es menor: permite avanzar en políticas y estrategias de planificación urbana informadas por la historia ecológica del territorio, que reconozcan la relevancia de los paisajes de humedales en contexto urbano como base para el diseño resiliente de ciudades en el siglo XXI.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue financiado por Adaptativa, hub de innovación ecodigital, con la especial colaboración del Lic. José Gatica.

BIBLIOGRAFÍA

Avalos, H. C., E. L. Chavero, (2019). La multifuncionalidad de agroecosistemas en la cuenca del río Cuitzmala, Jalisco, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 16(4), 513-537.

Balvanera, P., Pérez-Harguindeguy, N., Perevochtchikova, M., Laterra, P., Cáceres, D. M., Langle-Flores, A. (2020). Ecosystem services research in Latin America 2.0: Expanding collaboration across countries, disciplines, and sectors. *Ecosystem services*, 42, 101086.

Boyero, L., Datri, L., Lopez, M., Rodríguez Morata, C., Robertazzi, M., Lopez, H., Kraser, M., Canay, T., Valle Robles, J., Matteucci, S. (2021). Urban planning in arid Northern Patagonia cities to maximize local ecosystem services provision. In *Ecosystem Services in Patagonia: A Multi-Criteria Approach for an Integrated Assessment* (pp. 349-377). Cham: Springer International Publishing.

Brueder P, Schleyer-Lindenmann A, Curt C, Taillandier F (2023) Nature based solutions for flood risks: What insights do the social representations of experts provide? *PLOS Water* 2(11): e0000116. <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000116>

Burkhard, B., Maes J (Eds.) (2017) *Mapping Ecosystem Services*. Pensoft Publishers. Sofia. 374 pp.

Buzai, G. D., de León, A. G. (2015). Balance y actualidad de la geografía cuantitativa. En: Fuenzalida, M., Buzai, G., Moreno Jiménez, A., García de León, M. *Geografía, Geotecnología y Análisis Espacial. Tendencias, Métodos y Aplicaciones* P: 31.

Childers. D. L. Bois. P. Hartnett. H. E. McPhearson. T. Metson. G. S., Sanchez. C. A. (2019). Urban Ecological Infrastructure: An inclusive concept for the non-built urban environment. *Elem Sci Anth*. 7. 46.

Childers, D. L., Cadenasso, M. L., Grove, J. M., Marshall, V., McGrath, B., Pickett, S. T. (2015). An ecology for cities: A transformational nexus of design and ecology to advance climate change resilience and urban sustainability. *Sustainability*, 7(4), 3774-3791.

Chow. V. T. Maidment., D. R., Mays. L. W. 1994. *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill.

Datri, L.; Boyero, L.; Rodríguez Morata, C.; Lopez, M., José Gatica (2021) *La Región Metropolitana de la Confluencia (RMC) en el contexto del reporte de cambio climático*. RASADEP 10 (2)

Datri, L. A., Kraser, M., Campos, L., Robertazzi, M., Lopez, H., Canay, T., Boyero, L. (2022). Aplicación de los sistemas de información geográfica en la pericia ambiental: el caso del área natural protegida urbana Bardas Norte, Neuquén (Patagonia Argentina). *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, (30), 5-23.

- De Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., Willemen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological complexity*, 7(3), 260-272.
- Girardin, L. O., Girardin, O., Losano, F., Marizza, M., Cello, P., Bucciarelli, L., Forni, L., Camilloni, I., Bravo, G., Lallana, F., Di Sbroiavacca, N. (2017) La planificación del manejo de los recursos hídricos en el contexto del cambio climático. Una aplicación a la región del Comahue en la Patagonia Argentina. *Aqua – LAC*. ISSN: 1688-2881
- HEC-HMS Hydrologic Modeling System. 2004. - "*Technical Reference Manual*". Arlen D. Feldman. Editor. US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. Davis. California.
- Fischenich, J. C. (2001). Stability thresholds for stream restoration materials. Technical Note (Ecosystem Management and Restoration Research Program. Engineer Research and Development Center (U.S.)
- Grundling, R. E., Turner, D. P., Grundling, P., Beckedahl, H., Haussmann, N. S. (2021). Accidental wetlands - A Southern African case study from the Kgaswane Mountain Reserve, Rustenburg. *South African Geographical Journal*, 103(4), 484-500.
- Haines-Young, R., Potschin, M. (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In: Raffaelli, D. & C. Frid (eds.): *Ecosystem Ecology: a new synthesis*. BES Ecological Reviews Series, CUP, Cambridge, 1, 110-139.
- IPCC (2014). Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5). Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jullian, C., Nahuelhual, L., Mazzorana, B. and Aguayo, M. 2018. Assessment of the ecosystem service of water regulation under scenarios of conservation of native vegetation and expansion of forest plantations in south-central Chile. *Revista Bosque*, 39(2), 277-289.
<https://revistabosque.org/index.php/bosque/article/view/361>
- Lagos L. J; Pérez. D. R.; Farias O y Gauna. M. F. 2018. Restauración ecológica en un área protegida urbana de la Ciudad de Neuquén. *Compilación de experiencias de restauración ecológica basadas en educación ambiental. Restauración ecológica de la diagonal Árida de la Argentina* (3): 345-351.
- Maes. J. (2017). 3.7. Specific challenges of mapping ecosystem services. *Mapping ecosystem services*. 89. In: Burkhard B., Maes J (Eds.) (2017) *Mapping Ecosystem Services*. Pensoft Publishers. Sofia. 374 pp.
- Michaels S (2023) Differentiating between urban flood risk as a unitary problem and as a strand in a braided problem set: Implications for administrative coordination. *PLOS Water* 2(3): e0000090. <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000090>
- Mitsch, W., Bernal, B., Hernandez, M. (2015) Ecosystem services of wetlands. *International Journal of Biodiversity Science. Ecosystem Services & Management*. 11:1. 1-4. DOI: <http://10.1080/21513732.2015.1006250>
- Muthusamy, M., Rivas Casado, M. Salmoral, G., Irvine, T., Leinster, P. (2019). A remote sensing based integrated approach to quantify the impact of fluvial and pluvial flooding in an urban catchment. *Remote Sensing*. 11(5). 577.

- Palta, M. M., Grimm, N. B., Groffman, P. M. (2017). "Accidental" urban wetlands: ecosystem functions in unexpected places. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(5), 248-256.
- Palta, M.; du Bray, M.; Stotts, R.; Wutich, A. (2016) Ecosystem services and disservices for a vulnerable human population: Findings from urban waterways and wetlands in an American desert city. *Human Ecology* 44(4): 463–478. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10745-016-9843-8>
- Potschin, M., Haines-Young, R. (2016). Defining and measuring ecosystem services. In *Routledge handbook of ecosystem services* (pp. 25-44). Routledge.
- Potschin, M., Haines-Young, R. (2017). 2.3. From nature to society. *Mapping Ecosystem Services*. 41. In: Burkhard B., Maes J (Eds.) (2017) *Mapping Ecosystem Services*. Pensoft Publishers. Sofia. 374 pp.
- Rapacioli R.A., Camps A., 2019. Estudio de sensibilidad hidrológica en la margen sur del río negro, para las trazas de líneas troncales de alta tensión y gasoducto. Municipalidad de Cipolletti
- Renda E., Garay, M. R., Moscardini, O., Torchia, N. P. (2017). Manual para la elaboración de mapas de riesgo. *Ministerio de Seguridad de la Nación*.
- Rosenzweig, B. R. McPhillips, L. Chang, H., Cheng, C., Welty, C., Matsler, M., Davidson, C. I. (2018). Pluvial flood risk and opportunities for resilience. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*. 5(6). e1302.
- Salami, R. O., Giggins, H., Von Meding, J. K. (2017). Urban settlements' vulnerability to flood risks in African cities: A conceptual framework. *Jàmbá: Journal of Disaster Risk Studies*, 9(1), 1-9.
- Santos-Martin, F., Viinikka, A., Mononen, L., Brander, L. M., Vihervaara, P., Liekens, I., & Potschin-Young, M. (2018). Creating an operational database for ecosystems services mapping and assessment methods. *One Ecosystem*, 3, e26719.
- Suchy, A. K., Palta, M. M., Stromberg, J. C., Childers, D. L. (2020). High potential nitrate removal by urban accidental wetlands in a desert city: Limitations and spatiotemporal patterns. *Ecosystems*, 23, 1227-1242.
- Zulaica, L., Vazquez, P. (2021). Ciudades argentinas en el contexto del cambio climático: exploraciones para el análisis del riesgo y la resiliencia urbana. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 30(2), 396-417.