

# Medidas de mitigación contra inundaciones en la isla urbanizada “La Herradura”, Neuquén, Argentina

## Mitigation measures against floods in “La Herradura” urbanized island, Neuquén, Argentina

Damián Groch<sup>1</sup>  y Marisa Gloria Cogliati<sup>2</sup> 

### RESUMEN

La isla “La Herradura”, sobre el río Limay en la Norpatagonia Argentina, está sometida a un proceso de urbanización creciente que implica el establecimiento de población e infraestructura en zonas expuestas a inundaciones. En el presente trabajo se estudió la variabilidad hidrográfica del río y la evolución espacio-temporal de la dinámica social y natural de la isla entre 1960 y 2020, principalmente mediante información poblacional, hidrográfica y sensores remotos, entre otros. A partir de los resultados obtenidos se propusieron medidas de mitigación estructurales y no estructurales para su control. El estudio pone de manifiesto la influencia de la regulación del curso de agua mediante la instalación de represas, al atenuar el flujo y modificar la cantidad y magnitud de las crecidas que desencadenan inundaciones entre el tramo inferior del río. Además, los recientes cambios de uso de suelo ocurridos de forma simultánea afectaron negativamente el paisaje, siendo probable que estos efectos se acentúen de acuerdo a las proyecciones urbanísticas previstas.

**Palabras clave:** Medidas de mitigación, islas urbanizadas, inundaciones, variabilidad hidrográfica, análisis espacio-temporal.

### ABSTRACT

“La Herradura”, is an island in the Limay river in Northern Patagonia, Argentina. The area is affected by the rapid growth of urbanization with settlement of population and infrastructure in a high flood exposure zone. This paper studied the hydrographic variability of the river and the spatial-temporal evolution of the social and environmental dynamics of the island between 1960 and 2020, primarily using demographic data, hydrographic data, and remote sensors among others. The analysis suggests structural and non-structural mitigating measures to reduce and control flood hazards. The paper focuses on the impact of river courses regulation through the installation of dams, that attenuate the flow and alter the amount and size of events that cause flooding in the lower section of the Limay river. Furthermore, recent simultaneous changes in land use have a negative impact on the landscape, and these effects are likely to be accentuated according to the planned urban projections.

**Keywords:** Mitigation measures, urbanized islands, floods, hydrographic variability, spatio-temporal analysis.

<sup>1</sup> Departamento de Geografía, Universidad Nacional del Comahue – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina. Correo electrónico damiangroch@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Geografía, Universidad Nacional del Comahue, Argentina. Correo electrónico marisa.cogliati@fahu.uncoma.edu.ar

Las inundaciones actualmente son el tipo de desastre más destructivo que afecta a los seres humanos y sus medios de vida en todo el mundo, con un tercio de la ocurrencia total y más de la mitad de las muertes asociadas (United Nations, 2002; Simonović, 2012). Dichas consecuencias se experimentan principalmente en los centros urbanos, dado que allí se concentra la mayor proporción de la población mundial, muchos de los cuales se han localizado en sitios de riesgo pertenecientes a las planicies de inundación (Sánchez-Almodóvar, 2018).

En el contexto latinoamericano, la ocurrencia de inundaciones ubica a la Argentina como el país con mayores daños económicos y el tercero con mayor población afectada, probablemente debido al nivel diferencial de vulnerabilidad que tiene cada uno de ellos y su resiliencia (Aragón-Durand, 2014). Las inundaciones han sido mayormente analizadas en regiones húmedas del país, sin embargo, los estudios en ambientes áridos y semi-áridos se encuentran subdesarrollados, no por la ausencia de inundaciones, sino por la baja densidad poblacional a escala regional y la falta de investigaciones científicas.

En la Norpatagonia Argentina, y en particular en el río Limay, diversos aspectos vinculados al caudal e inundaciones han sido estudiados por su aptitud para la generación de energía hidroeléctrica destinada al abastecimiento de grandes centros urbanos del país. Se destacan los estudios llevados a cabo por INA (2002) para el análisis de las crecidas máximas probables sobre la base de ocho estudios previos en distintos sitios de la cuenca y análisis estadísticos. Secretaría de Energía (2003) y Valicenti (2004b) estudiaron los proyectos de las grandes obras a nivel nacional y regional que finalmente se llevaron a cabo y contribuyeron al sistema energético nacional. Valicenti (2004a) analizó las amenazas de las cuencas Limay, Neuquén y Negro asociadas a inundaciones, sismos, volcanismo, desertificación, incendios, deslizamientos y nieve. Poblete y Pizarro (2008) efectuaron el pronóstico del derrame anual del río Limay utilizando modelos empíricos basados en índices climáticos. Daniluk (2018) estudió las condiciones de seguridad previstas para la evacuación poblacional en caso de emergencia hídrica por falla o rotura de presas en la Ciudad de Neuquén, a partir de encuestas, métodos estadísticos y trabajos de campo para 2018. Pessacg et al. (2018) simularon la producción de agua media anual en la cuenca del río Limay mediante la calibración del modelo INVEST. Barra (2019) evaluó el riesgo por inundación en el tramo inferior del río Limay considerando caudales con tiempos de recurrencia de 100 años a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Algunos estudios han implementado el análisis espacio-temporal para el diagnóstico y resolución de problemáticas socio-económicas y ambientales vinculadas a las inundaciones. Huang et al. (2014) detectaron áreas inundadas mayores a 64,000 km<sup>2</sup> en Australia al integrar series temporales de caudal e imágenes satelitales MODIS del 2000 al 2010, identificando no solo su extensión, sino también su frecuencia y probabilidad futura. Ramiamanana y Teller (2021) analizaron factores de vulnerabilidad en un sector de Madagascar propenso a inundaciones, utilizando información demográfica, cartográfica y sensores remotos para el período 1953-2017. En particular en Argentina, el análisis espacio-temporal fue utilizado por Maldonado (2012) para determinar niveles de peligrosidad a inundaciones al sur de Córdoba, por Eremchuk (2019) para identificar asentamientos urbanos y rurales de Catamarca sobre geoformas fluviales amenazadas por inundaciones repentinas, y por Contreras et al. (2021) para monitorear la variabilidad de las inundaciones en relación con dunas de arena en el centro-oeste de Buenos Aires, los cuales utilizaron información aérea y satelital, datos geomorfológicos, climáticos y edafológicos, entre otros.

Si bien la cuenca del río Limay se ha estudiado ampliamente, no se ha avanzado en el análisis espacio-temporal de las inundaciones recurrentes del río Limay en islas urbanizadas. De acuerdo con Pérez (2018) la región se encuentra experimentando un acelerado crecimiento poblacional desde la década del '70, especialmente en la Ciudad de Neuquén y ciudades aledañas, como General Roca, Cipolletti, Centenario y Plottier, entre otras. El aumento demográfico y la presión inmobiliaria, generó en los últimos años un reemplazo paulatino de las actividades y usos productivos en la planicie de inundación por la construcción de nuevos barrios (Barra, 2019). En Plottier, por ejemplo, la expansión urbana inmediata se está produciendo hacia el sur del ejido en áreas inundables (Pérez, 2018) generando de esta manera el asentamiento de personas en sectores de riesgo (Perren et al., 2016).

El incremento del caudal de los ríos genera regularmente inundaciones de las zonas ribereñas e islas habitadas, ocasionando problemáticas socioeconómicas y ambientales diversas y poniendo en riesgo la vida de las personas. El presente trabajo, tiene por objetivo la propuesta de medidas de mitigación estructurales y no estructurales para la reducción del riesgo de inundación en la isla urbanizada "La Herradura".

## Área de estudio

El área de estudio se localiza sobre la margen izquierda en el tramo inferior del río Limay, dentro del ejido municipal de la ciudad de Plottier (Neuquén, Argentina) y en cercanías de la confluencia con el río Neuquén (16.0 km) (Figura N°1). Al año 2010, la isla se encontraba habitada por aproximadamente 317 personas (INDEC, 2010), las cuales presentan una mixtura de clases sociales, de calidades de la vivienda y formas de acceso a la tierra (Pérez, 2018).

El sector se encuentra influenciado por los aportes hídricos de casi la totalidad de la cuenca del río Limay, con una superficie estimada de 60,265.7 km<sup>2</sup>. Los caudales resultantes, con origen en la Cordillera de los Andes, tienen un comportamiento hidrográfico de doble onda de crecida (Datri et al., 2016) debido a los aportes pluviales durante el otoño-invierno y el deshielo en la primavera. De acuerdo con Lauro et al. (2019) el río Limay presenta los caudales medios estacionales más elevados durante el invierno (949.8 m<sup>3</sup>/s), mientras que los más bajos se observan en el verano (362.0 m<sup>3</sup>/s).

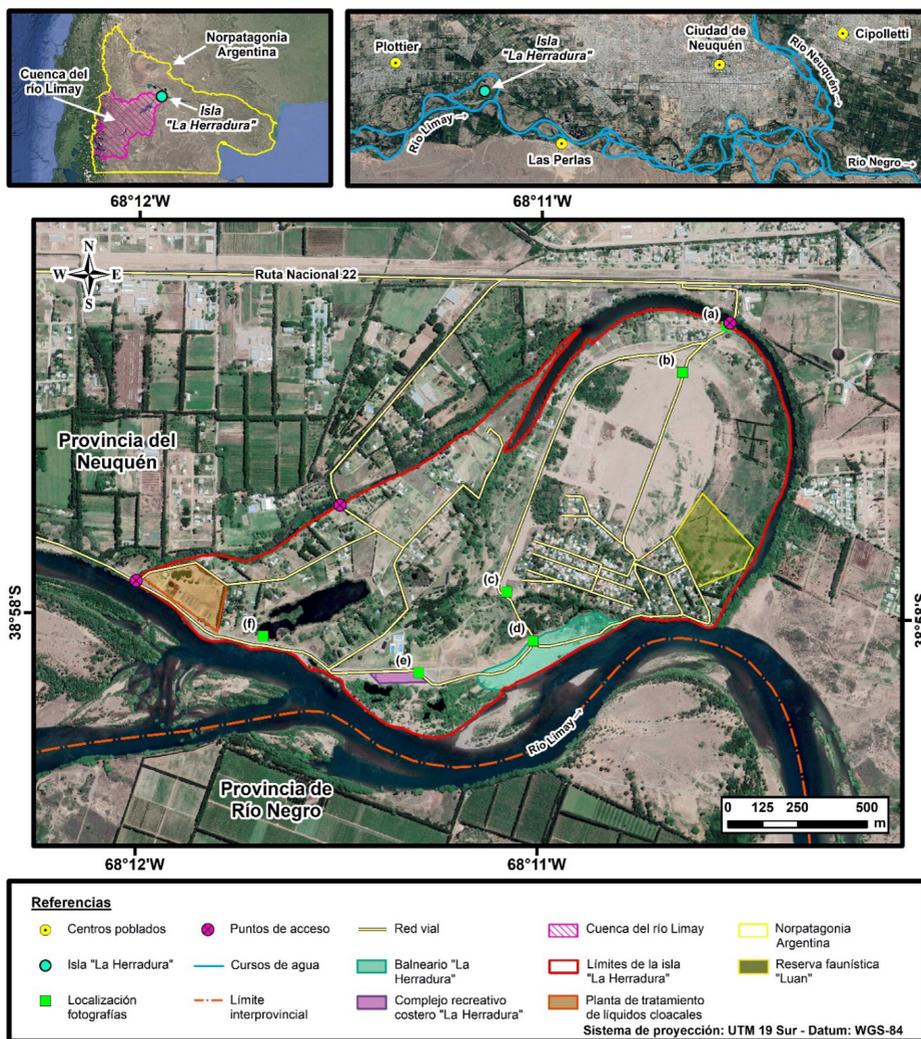
La isla presenta una altitud media de 272.2 m s.n.m., con variaciones topográficas internas entre los 266.0 y 282.0 m s.n.m., y una superficie media de 1.8 ±0.05 km<sup>2</sup>. Se emplaza geomorfológicamente a escala regional dentro de la planicie aluvial del río Limay; mientras que geológicamente se caracteriza por depósitos aluviales del Holoceno, constituidos por gravas y menor participación de arenas, limos y arcillas, con gran fertilidad para el cultivo de frutales y hortalizas (Rodríguez et al., 2007).

La precipitación media anual de la región es de 180.0 mm (Cogliati et al., 2018) con vegetación dominante de tipo xeromórfica, exceptuando aquellos sectores pertenecientes a las planicies de inundación. El ambiente ribereño se caracteriza por vegetación mayormente exótica con parches discretos, según disponibilidad de agua, de salicáceas tales como aquellos compuestos por el

complejo *Salix alba* (sauce blanco) - *Salix euxina* y los híbridos *Salix x fragilis*, entre otros (Datri et al., 2016).

Dentro del área de estudio, se presentan elementos con influencia variable en la acentuación/ atenuación de inundaciones, siendo expuestos en la Figura N°2 los de mayor trascendencia. Entre ellos, se encuentran el terraplén que actúa de acceso principal de la isla (Figura N°2.a); el sector de lagunas rellenadas total y parcialmente con material para posibilitar la nueva urbanización (Figura N°2.b y 2.c); el sector público destinado como balneario (Figura N°2.d); un área recreativa con adaptaciones al ambiente ribereño (Figura N°2.e); y una laguna en estado natural (Figura N°2.f). Las disparidades en el cuidado y mantenimiento de los elementos, repercute directamente en el riesgo de inundación, por lo que fueron considerados en el presente trabajo.

**Figura N°1.**  
Localización del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura N°2.**

Elementos con influencia variable en la acentuación/atenuación de inundaciones observados en la isla La Herradura el 18/Feb/2020. (a) punto de acceso principal de la isla, materializado por un terraplén de doble carril sin defensas, división interna y paso peatonal (Foto: Sra. Luciana Campos); (b) sector antropizado mediante rellenos de material sobre lagunas, en donde se proyecta el barrio "La Herradura del Limay"; (c) lagunas en proceso de relleno utilizando áridos, gravas y cantos rodados (totalmente cubierta para Mar/2020); (d) balneario público "La Herradura", de suelo permeable y gran concurrencia durante la época estival; (e) complejo recreativo costero "La Herradura", con características físicas adecuadas al ambiente ribereño; (f) laguna con sus características naturales preservadas. La localización de las fotografías se presenta en Figura N°1.



Fuente: Elaboración propia.

## Material y Métodos

El presente trabajo se llevó a cabo mediante la utilización de información cartográfica, imágenes satelitales, fotografías aéreas y terrestres, datos poblacionales e hidrográficos, así como también registros históricos (Cuadro N°1). La interrelación de los datos se efectuó mediante el estudio de la variabilidad hidrográfica del río Limay y la evolución espacio-temporal de la dinámica social y natural de la isla La Herradura entre 1960 y 2020. A partir de ello, se sugirieron medidas de mitigación para disminuir el riesgo de inundación.

**Cuadro N°1.**

Datos utilizados para el estudio de la isla La Herradura.

Datos	Fecha / período	Escala / resolución	Fuente
<b>Cartografía</b>			
Plano catastral: "Ejido Municipal de Plottier" (preliminar)	2019	-	Municipalidad de Plottier.
Geología: "Neuquén"	2007	1:250.000	Rodríguez <i>et al.</i> (2007).
Geomorfología: "Neuquén"			
<b>Datos hidrográficos</b>			
Estación de aforo "Las Perlas": Caudal medio diario	1960-2019	Diaria	Sistema Nacional de Información Hídrica y AIC.
<b>Datos poblacionales</b>			
Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas: Población total por radio censal	2010	≈ 10 años	INDEC (2010).
Entrevistas personales semi-estructuradas	Feb/2020	-	Trabajo de campo.
<b>Fotografías aéreas</b>			
Plan de Vuelo Cordillerano (2 fotogramas)	≈ Feb/1963	1:50,000	IGM (actual IGN).
Relevamiento de cotas máximas ante una inundación (6 fotogramas)	04/Ago/2006	≈ 0.6 m	Sr. Jorge Bialous.
<b>Fotografías terrestres</b>			
Registros directos	Feb/2020	-	Trabajo de campo.
Google Street View	Mar y Jun/2014	-	Google LLC.
<b>Imágenes satelitales</b>			
Google Earth Pro (51 escenas)	2003-2020	≈ 0.5 m	Google LLC.
Shuttle Radar Topography Mission	Feb/2000	≈ 30.0 m	USGS.
<b>Registros históricos</b>			
Artículos periodísticos	2001-2020	Diaria	DRN, LMNeuquén, Clarín y La Nación.

Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, se llevó a cabo un análisis de la serie de datos de caudal ( $m^3/s$ ) del río Limay para el período 1960-2019, a fin de estudiar el comportamiento hidrográfico de forma anterior y posterior a la regulación antrópica; y los extremos que se asociarían con inundaciones en la isla La Herradura. Los datos fueron registros diarios de la estación de aforo "Las Perlas" ( $38^{\circ}58'55.37''$  Sur,  $68^{\circ}08'22.18''$  Oeste, 266.0 m s.n.m.), localizada a 4.5 km aguas abajo de la isla y considerada

como representativa del comportamiento hidrográfico de toda la cuenca del río Limay. Los valores máximos, mínimos y medios fueron interrelacionados con la concreción de obras hidroeléctricas emplazadas a lo largo de la cuenca, que toman mayor relevancia a partir de la puesta en operación de la represa "El Chocón", a fin de observar la influencia hidrográfica por la regulación del caudal. Además, se consideraron las distintas cotas a partir de las cuales las inundaciones podrían tener diversas implicancias.

Posteriormente se realizó una recopilación de información remota, tanto de imágenes satelitales de Google Earth Pro como de fotografías aéreas obtenidas a partir de vuelos fotogramétricos. La selección y análisis espacio-temporal fue realizado en función de la disponibilidad existente para el período 1963-2020, con escenas libres de cubierta nubosa y presentando variaciones espaciales significativas y/o de interés. Se detectaron cambios en dinámica actual del sistema fluvial asociado a la isla (procesos de erosión y acumulación), sectores permanentemente inundados (lagunas), áreas sometidas a inundaciones, deforestación, urbanización, entre otros. Las escenas fueron previamente ensambladas y georreferenciadas en ENVI 5.0, e incorporadas y analizadas utilizando los SIG QGIS 3.8 y ArcGIS 10.1, para la localización y vectorización de todas las edificaciones, lagunas, líneas de costa, sectores inundados asociados a la isla, y áreas proyectadas a urbanizar. Se estimaron las superficies y longitudes, y se realizó un análisis espacio-temporal comparativo.

A partir de la cartografía geológica y geomorfológica regional, se proporcionaron los datos de las características físicas preexistentes en la isla. Esto se complementó con el análisis de la topografía local de la isla, mediante la altimetría a nivel del terreno obtenida del Modelo Digital de Elevación SRTM.

Complementariamente se llevaron a cabo trabajos de campo, para la observación directa de elementos con influencia variable en la acentuación/atenuación de inundaciones, tales como las estructuras físicas, puntos de acceso, lagunas, áreas recreativas, red vial interna, etc., algunos de los cuales fueron considerados durante la inspección previa de información remota. El relevamiento permitió, además, ampliar el conocimiento de la situación actual en la que se encuentra la isla y la obtención de fotografías terrestres, así como también la realización de entrevistas semi-estructuradas a informantes calificados sobre inundaciones previas en este sector específico del río Limay. La cantidad de personas que habitan la isla de forma permanente se obtuvo de los datos censales de 2010; y se utilizaron registros periodísticos para obtener detalles inherentes a problemáticas de interés público.

Las observaciones a nivel del terreno se complementaron mediante fotografías de Google Street View, que proporcionaron un registro histórico previo a los movimientos de suelo significativos que se observaron en 2019 y 2020 en la isla. Los mismos se corresponden con espacios proyectados en la isla para su urbanización, identificados y cuantificados mediante la utilización del plano catastral de la ciudad de Plottier. A fin de comprender las dinámicas internas de la isla y establecer cualitativamente su tendencia futura se establecieron asociaciones entre los espacios naturales y los proyectados.

El diagnóstico de las condiciones preexistentes, actuales y futuras de la isla permitió un análisis crítico e integral asociado a las inundaciones. Ello permitió, a su vez, el diseño de medidas de

mitigación estructurales y no estructurales enfocadas en la reducción de afectaciones potenciales debido a este tipo de eventos hídricos.

Dentro de las medidas estructurales, se incluyó “cualquier construcción física para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a las amenazas” (Naciones Unidas, 2009:20). En este grupo se consideraron las obras de ingeniería forestal y de ecohidrología, tales como la forestación y renaturalización de laderas y cauces, entre otros (Bertoni, 2019).

Dentro de las medidas no estructurales se consideró “cualquier medida que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor concientización pública, la capacitación y la educación” (Naciones Unidas, 2009:20). De acuerdo con Jha et al. (2012) y Bertoni (2019), las estrategias más efectivas para la reducción de riesgos parten de la combinación de medidas estructurales y no estructurales, dado que las mismas no son excluyentes, sino complementarias.

## Resultados y Discusiones

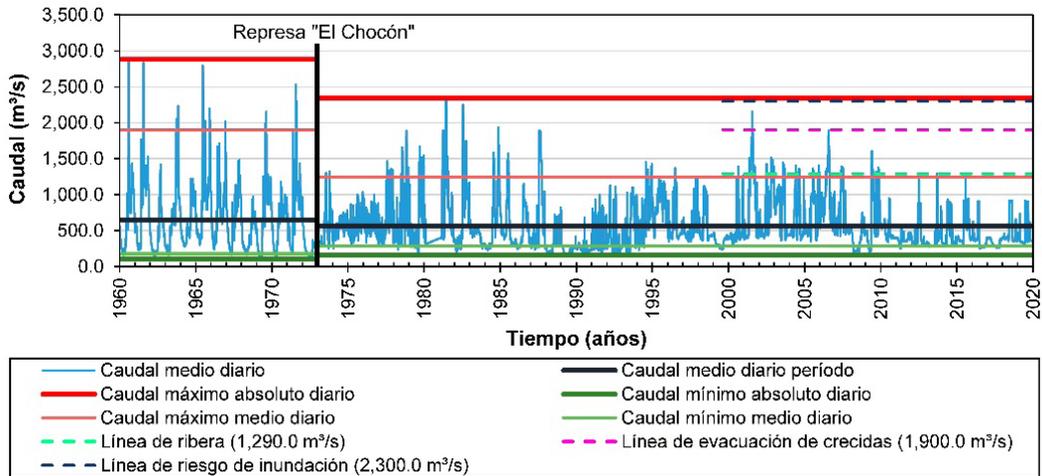
### *Variabilidad hidrográfica del río Limay*

Los registros históricos de crecidas en la Norpatagonia Argentina muestran que las zonas ribereñas e islas están expuestas a inundaciones periódicas, a pesar de la regulación existente de los cursos de agua desde los años '70. Crecidas extraordinarias de los ríos Limay y Neuquén fueron mencionadas por Cibils y Chanourdie (1899), quienes analizaron las inundaciones ocurridas en el río Negro (Figura N°1) y describieron las cuatro grandes inundaciones ocurridas entre diciembre de 1898 y julio de 1899 como las más importantes y perjudiciales, superando inclusive las acontecidas en 1879 y 1845-1847. Teniendo en consideración las problemáticas que ellas generaron, fueron llevados a cabo los primeros estudios específicos sobre el río Limay con la intención de embalsar los lagos principales mediante diques y retener hasta un 66.6% de las crecientes (Cibils y Chanourdie, 1899).

El análisis de la serie de datos de caudal del río Limay para el período 1960-2019, muestra que el mismo posee dos comportamientos hidrográficos claramente distinguibles, los cuales fueron propuestos y denominados en el presente trabajo como pertenecientes a los períodos “pre-regulación” (previo a 1973) y “post-regulación” (1973 - actualidad) debido a las represas. La puesta en operación de la represa “El Chocón” el 22/Dic/1972 y las cuatro obras subsiguientes (“Arroyito” en 1983, “Alicurá” en 1984, “Piedra del Águila” en 1993, y “Pichi Picún Leufú” en 1999), repercutieron significativamente en los caudales erogados, marcando un punto de quiebre en la historia hidrográfica de la cuenca. La Figura N°3 exhibe la diferencia entre dichos períodos a partir de los caudales medios diarios registrados, considerando además los valores máximos, mínimos y medios.

**Figura N° 3.**

Caudal máximo, mínimo y medio diario de la estación de aforo Las Perlas para el período 1960-2019. Se consideró período "pre-regulación" al anterior a 1973 y período "post-regulación" al posterior a la puesta en operación de la represa "El Chocón". Las líneas de ribera, crecidas y riesgo de inundación se presentan a partir del inicio de operaciones de la última represa —"Pichi Picún Leufú" el 30/Ago/1999—.



Fuente: Elaboración propia.

En primera instancia, durante el período "pre-regulación" el río Limay presentó caudales medios diarios de 650.3 m³/s, con máximas y mínimas medias de 1,897.0 m³/s y 181.3 m³/s respectivamente. Si bien la cuenca presenta 42 grandes cuerpos de agua emplazados en la Cordillera de los Andes (Daniluk, 2018), los cuales actúan como reguladores naturales, el río previo a la regulación presentaba una amplitud máxima del caudal en el orden de los 2,778.1 m³/s. El mayor evento ocurrió el 01/Ago/1960, alcanzando un caudal máximo de 2,883.7 m³/s; mientras que el caudal más bajo se presentó el 13/Abr/1969 con 105.6 m³/s.

Durante el período de "post-regulación", la alteración del curso de agua generó una leve disminución en los valores medios diarios del caudal, presentando un 13.0% menos que el período anterior (565.7 m³/s). Las condiciones hidrográficas extremas presentaron mayores modificaciones, dado que los caudales máximos medios y absolutos registrados disminuyeron a 1,247.9 m³/s y 2348.6 m³/s (13/Jun/1981) respectivamente; mientras que los mínimos medios y absolutos alcanzaron 281.3 m³/s y 154.9 m³/s (10-17/Abr/1989) respectivamente. Esto provocó que la amplitud máxima del caudal fuera menor, con un valor medio de 2,193.7 m/s.

La atenuación de los caudales máximos y mínimos, producto de la instalación de las represas y sus respectivos embalses artificiales, produjo un cambio en la frecuencia y magnitud de las crecidas que desencadenan inundaciones en el tramo inferior del río Limay. La ocurrencia de inundaciones se definió teniendo en cuenta la cota a la que llegan las aguas durante las crecidas máximas medias anuales en dicho sector, denominada Línea de Ribera (LR), equivalente a un caudal de 1,290.0 m³/s (Valicenti, 2004a). Este caudal tiene una recurrencia media de 2.16 años, pudiendo distinguirse recurrencias de 1.37 años en el período "pre-regulación" y un incremento

de casi el doble con 2.66 años en el período “post-regulación” (Datri et al., 2016). Asimismo, la magnitud de los eventos se redujo considerablemente y esto se observa en los valores extremos de caudal medio diario de la Figura N°3.

De la misma forma que la LR, se estableció la Línea de Evacuación de Crecidas (LEC), entendida como “aquellas partes del cauce y de las planicies de inundación donde pueden escurrir crecidas que tengan una recurrencia pronosticable sin un incremento significativo de la altura de inundación”, que para el río Limay equivale a 1,900.0 m<sup>3</sup>/s y un tiempo de recurrencia de 10 años; y por último la Línea de Riesgo de Inundación (LRI), la cual refiere a “aquellas partes de la planicie de inundación fuera del LEC, sujeta a riesgo de inundación” que “pueda ser ocupada por el agua durante las inundaciones importantes”, equivalentes a 2,300.0 m<sup>3</sup>/s y un tiempo de recurrencia de 100 años (Valicenti, 2004a:105). La LR si bien ha sido superada en múltiples ocasiones luego de la puesta en funcionamiento de la última represa, todos los casos se presentaron entre el 2000 y 2009, denotando así una mejora en el manejo del agua en los últimos 10 años. Entre dichos casos, se destacan dos episodios de crecidas con un máximo diario de 2,155.6 m<sup>3</sup>/s el 24/Jul/2001 y 1,895.8 m<sup>3</sup>/s el 27/Jul/2006, los cuales representaron una superación y coincidencia respectivamente de la LEC, sin alcanzar la LRI tal como hubiese sucedido considerando los caudales existentes durante el período “pre-regulación”. La magnitud del segundo episodio conllevó a un estado de emergencia hídrica que se concretó con la Declaración 010/06 de la Municipalidad de Plottier (28/Jul/2006) y la Resolución 701/06 de la Legislatura de la Provincia del Neuquén (09/Ago/2006), las cuales tornaron eficaces las acciones proyectadas en beneficio de los habitantes ribereños.

Las problemáticas socio-naturales actuales se iniciaron a partir de la construcción de las represas durante la segunda mitad del siglo XX. La población regional se incrementó notablemente producto de las migraciones entre 1950 y 1991, alcanzando un crecimiento de hasta trece veces en la Ciudad de Neuquén (pasando de 7,000 a 90,000 habitantes respectivamente), cubriendo la demanda habitacional en dicha ciudad y otras cercanas (Perren, 2015, Pérez, 2018). El crecimiento poblacional exponencial y la disponibilidad aparente de tierras ante la regulación de los caudales condujeron al establecimiento permanente de personas sobre áreas ribereñas y, más recientemente, sobre algunas islas como en La Herradura. Esto se habría generado por un cambio de percepción respecto a la ocupación de las planicies de inundación y la exposición de la población a eventos hidrográficos extremos, propiciando según Pérez (2018) la construcción de situaciones de riesgo. Su gestión integral exigió un entendimiento del proceso de antropización en torno al río Limay, a partir de un análisis espacio-temporal.

### *Evolución espacio-temporal de la isla La Herradura*

La dinámica fluvial existente en torno a La Herradura, responde a una combinación de aportes pluvionivales de la cuenca alta localizada en la Cordillera de los Andes, regulación de los cuerpos de agua naturales, volumen de agua almacenada en los embalses artificiales y caudal erogado por las represas. De acuerdo con la información remota disponible (Cuadro N°1), todos estos efectos parecieran tener implicancias espaciales debido a la modificación continua de la morfología del paisaje fluvial.

La Figura N°4 exhibe la evolución de la isla La Herradura y su entorno inmediato para los años 1963, 2003, 2006 y 2019 (Figura N°4.a a 4.d respectivamente) principalmente vinculada a la geomorfología fluvial, el proceso de urbanización dominante y las lagunas existentes (Figura N°2.f). En un principio, el análisis geomorfológico en dichos cortes temporales denotó un cambio en el diseño del cauce principal, pasando de uno predominantemente meandriforme en 1963 a uno mayormente anastomosado en 2019. Esto respondería a la regulación de los caudales del río Limay a partir de 1973, con la puesta en operación de la represa El Chocón y subsiguientes.

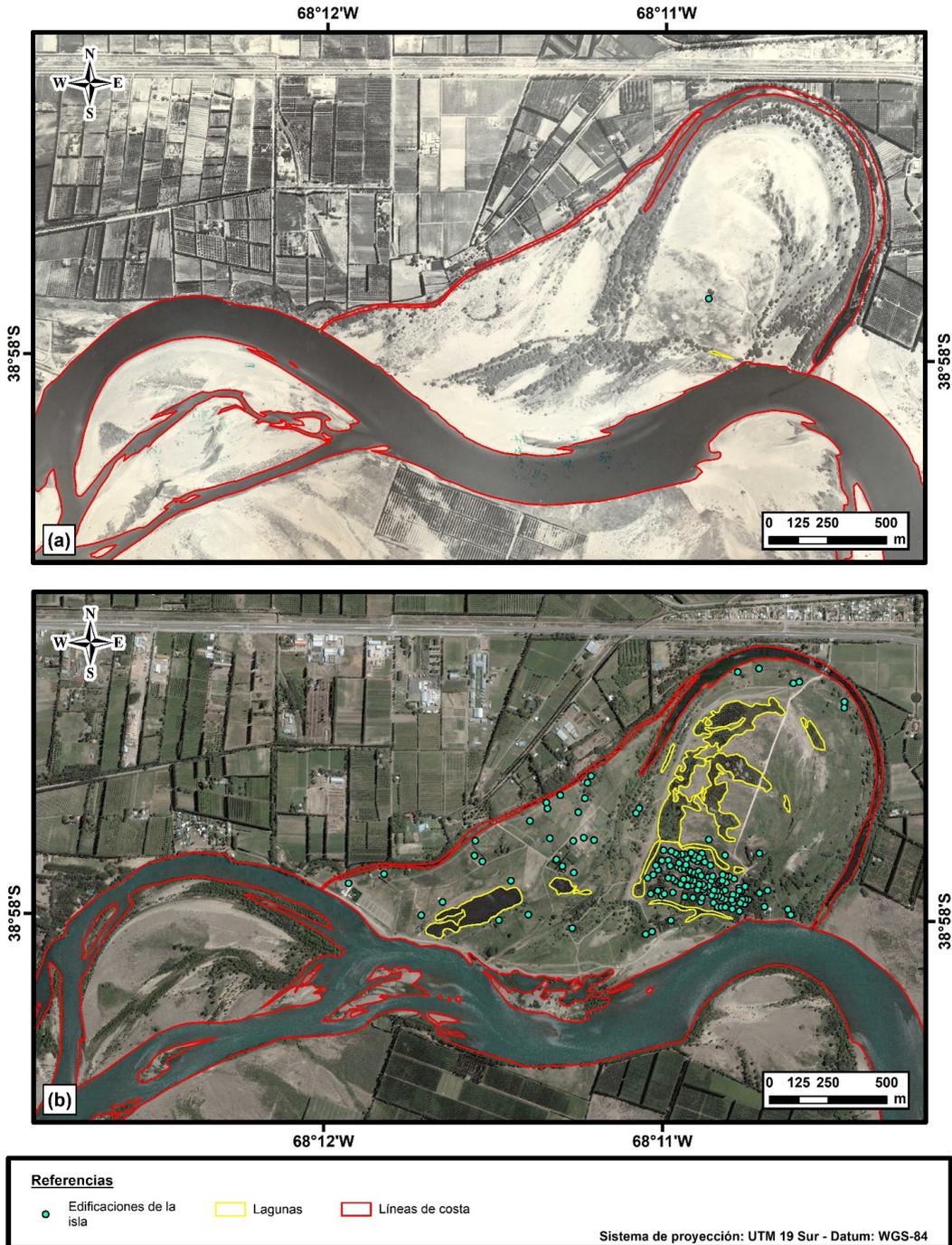
La regulación y atenuación de los caudales (Figura N°3) favorecería un cambio en el diseño del cauce principal del río Limay, al profundizar el corte existente en la "cabeza" del meandro aguas arriba de la isla. La menor energía del agua propiciaría la circulación por la línea de menor recorrido e impactaría de forma directa en el sur de la isla La Herradura. Precisamente en ese punto se observan procesos dominantes de erosión y acumulación, en detrimento del sector norte rodeado por un curso de agua secundario y abundante vegetación arbórea ribereña. Se estimó que entre 1963 y 2003 en dicho sector de impacto la erosión posibilitó la pérdida de 88,181.4 m<sup>2</sup> de superficie, retrocediendo la línea de costa un máximo de 154.4 m y propiciando la formación de nuevas islas y barras. La acumulación creciente de material sedimentario de forma posterior a dichas geofomas permitió su reincorporación a la isla años después y, asimismo, produjo la creación de una nueva isla (30,863.4 m<sup>2</sup>) y barra (2,314.5 m<sup>2</sup>) que factiblemente se incorpore en el futuro de forma natural al espacio perteneciente al balneario. Cabe destacar, que la línea de costa del sector sureste de La Herradura experimentó un retroceso en el orden los 33.2 m, característico de las costas de erosión en sistemas meandriformes; mientras que el sector norte se presentó comparativamente más estable, con pequeñas variaciones espaciales.

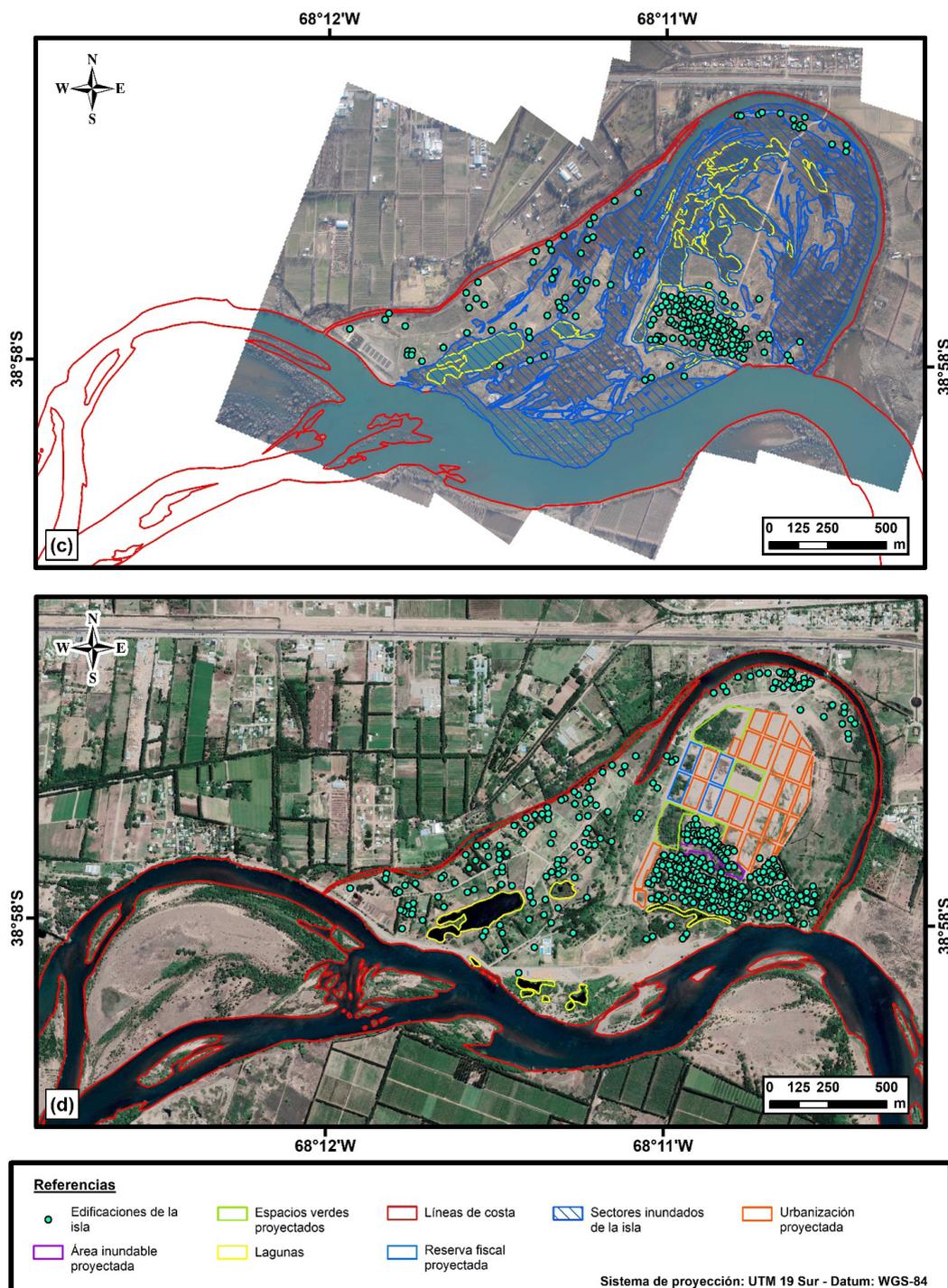
Paralelamente a la evolución del sistema fluvial, se observó un proceso urbanización en la isla entre 1963 y 2019. En 1963 la isla se encontraba en estado natural, con influencias antrópicas limitadas a unas pocas huellas y una única edificación de 60.3 m<sup>2</sup> (Figura N°4.a). Cuatro décadas después, la urbanización se incrementó notablemente alcanzando una superficie edificada combinada de 21,291.4 m<sup>2</sup> en 148 edificaciones, concentrada principalmente en el barrio "La Herradura" en el sureste de la isla, al presentarse allí las mayores elevaciones sobre el nivel del río debido a depósitos de sedimentos pertenecientes a diques naturales (Figura N°4.b). La tendencia de urbanización continuó durante los siguientes tres años, al exhibir una superficie edificada de 29,098.3 m<sup>2</sup> en 208 edificaciones (Figura N°4.c). Si bien la concentración urbana persistió en el mismo lugar, comenzó a observarse una mayor cantidad de asentamientos en el norte y oeste de la isla, los cuales presentan una mayor exposición a las inundaciones debido a la escasa diferencia de altura sobre el nivel del río (Figura N°4.c). En 2019, la superficie edificada alcanzó los 56,326.0 m<sup>2</sup> en 429 edificaciones (Figura N°4.d).

El análisis de la información remota demostró que el proceso de crecimiento urbano regional se encuentra presente a escala local en La Herradura, dado que entre 2003 y 2019, se incrementaron en 2.6 veces la superficie edificada (crecimiento medio de 2,189.7 m<sup>2</sup>/año) y en 2.9 veces las edificaciones (crecimiento medio de ≈18 edificaciones/año), equivalentes a un aumento del 10.3 %/año y 11.9%/año respectivamente.

**Figura N°4.**

Evolución histórica de la isla La Herradura y entorno inmediato para los años 1963 (a), 2003 (b), 2006 (c) y 2019 (d).





Fuente: Elaboración propia.

La urbanización ha tenido influencias notables sobre las lagunas, dadas sus fluctuaciones espaciales y temporales entre 1963 y 2019 (Figura N°4). En un primer momento, en la isla existía tan solo una laguna de 589.9 m<sup>2</sup> (Figura N°4.a). La evolución del sistema fluvial al año 2003 presentó

una modificación interna con diez lagunas dispersas en la isla y una superficie total de 169,101.0 m<sup>2</sup> (9.8% de la isla), exhibiendo una vinculación activa con el río Limay (Figura N°4.b). La misma se advirtió durante la inundación ocurrida en 2006, dado que la elevación del nivel del agua conectó todas las lagunas con el cauce secundario alrededor de la isla y el curso principal, y fragmentó la isla en varias islas dispersas de menor tamaño (Figura N°4.c). En ese evento, el 55.6% de La Herradura quedó cubierta bajo agua (1.0 km<sup>2</sup>), afectando por contacto directo a 24 edificaciones, y de acuerdo con DRN (2006a, b) produjo el aislamiento de 70 familias, el corte preventivo del servicio eléctrico, el derrumbe parcial del puente de acceso y consecuentemente el bloqueo de agua del río, que mantuvo la inundación en algunos sectores de la isla. El área inundada coincidió con los espacios ocupados naturalmente por humedales (Figura N°4.c), entendidos como zonas de transición entre los ecosistemas acuáticos y terrestres donde la tierra está cubierta por aguas poco profundas (Mitsch y Gosselink, 1986) de forma transitoria o permanente, y dentro de los cuales se localizan de forma activa las lagunas bajo análisis.

Para el año 2019 las lagunas exhibieron una reducción drástica de la superficie ocupada, en el orden de -62.9%, disgregadas en 9 cuerpos (62,693.2 m<sup>2</sup>, equivalentes al 3.5% de la isla) (Figura N°4.d). Si bien no varió notablemente la cantidad de cuerpos de agua, cinco de ellos fueron de menor tamaño respecto a los existentes en años anteriores y se localizaron en el espacio incorporado al sur de la isla. Las lagunas que se encontraban en el sector central, desde 2018 han sido rellenadas con áridos, gravas y cantos rodados con deforestación de sitios asociados a humedales, en un proceso que continúa en mayo de 2020 (Figura N°2.c). Además, algunos pocos cuerpos parecieran haber perdido casi la totalidad de su función hídrica y ecológica al presentar rellenos parciales que propician su desaparición y por ello mismo no fueron contabilizados. Se ha observado además que una de las lagunas fue rellenada y edificada por encima. La desconexión de las áreas inundables naturalmente podría tener consecuencias durante futuros eventos hídricos.

De acuerdo con la información disponible, se puede concluir que los movimientos de suelo registrados se corresponden con la nueva urbanización proyectada en la isla, denominada "La Herradura del Limay" (Figura N° 2.b. y 4.d). La misma se encuentra en la primera de tres etapas para su aprobación municipal, sin embargo, las modificaciones espaciales al día de la fecha son notables (Figura N° 2.b y 2.c). De acuerdo con las mediciones realizadas para el nuevo barrio en función de la información catastral, se incorporarían 390 lotes (149,381.1 m<sup>2</sup>), 4 reservas fiscales (28,682.5 m<sup>2</sup>) y 4 espacios verdes (66,198.8 m<sup>2</sup>), distribuyéndose de esta manera el 61.2%, 11.7% y 27.1% del área total a incorporar respectivamente. Solo se proyecta la conservación de un área inundable de 11,190.4 m<sup>2</sup>, específicamente para la atenuación de crecidas (Figura N°4.d). A la fecha, las superficies ocupadas de las reservas fiscales y espacios verdes se adaptan parcialmente al Código de Planeamiento Urbano-Rural (CPUR) de la ciudad de Plottier (Municipalidad de Plottier, 2014), dado que si bien las áreas destinadas a espacios verdes se encuentran de acuerdo lo establecido (no menor al 10.0%), las reservas fiscales superan el área destinada para tal fin (establecido en 5.0%). Además de ello, es probable que en la isla sigan presentándose nuevos loteos de forma dispersa, siguiendo la tendencia observable en la Figura N°4. Si bien el CPUR admite un uso residencial de carácter no permanente para la zona ribereña e islas, es de esperarse en función de los trabajos de campo y el censo nacional de 2010 en el barrio ya establecido, que la urbanización proyectada tampoco cumpla con dicha pauta. De hecho, los loteos son ofrecidos actualmente (Ago/2021) para un establecimiento permanente, incluyendo todos los servicios básicos.

## *Propuesta de medidas de mitigación*

De acuerdo al análisis espacio-temporal expuesto anteriormente para la isla La Herradura, es posible considerar que la tendencia de urbanización dentro de la misma es ineludible, como resultado del crecimiento poblacional que está experimentando la región hacia las zonas de ribera y la firma de convenios urbanísticos recientes. Sin embargo, a diferencia de lo ocurrido en décadas anteriores, la urbanización futura aún puede realizarse de forma planificada y siguiendo lineamientos adecuados para ambientes fluviales. Para ello se proponen diferentes medidas de mitigación estructurales y no estructurales interrelacionadas, partiendo de la situación en la que se encuentra actualmente la isla. Cabe destacar que las medidas no fueron diseñadas para impedir la ocurrencia de inundaciones en la isla, sino que se plantearon con el objetivo de disminuir el riesgo de inundación a partir de la reducción de la amenaza que representa los aumentos significativos del caudal y la reducción de la vulnerabilidad de las personas que habitan en la isla. Teniendo en cuenta los tiempos de recurrencia, es posible que en los próximos años tengan lugar inundaciones similares a las acontecidas en el pasado, por lo que sería importante considerar a la brevedad las propuestas de mitigación.

Entre las medidas de mitigación estructurales inherentes a la isla La Herradura, se destacan las cinco represas existentes aguas arriba, las cuales contribuyen con la atenuación de los caudales y reducen consecuentemente el grado de amenaza impuesto por las inundaciones. La existencia de ellas influye directamente en la isla al modificar el sistema de drenaje de la cuenca del río Limay y, por extensión, del río Negro, tal como fue expuesto a partir del análisis de la Figura N°3 y N°4.

Las obras estructurales en la isla deberían enfocarse primeramente en el mantenimiento de las líneas de costa, mediante la creación de defensas por espigones y revestimientos mixtos de grava/hormigón en los sectores suroeste y sureste, los cuales se encuentran afectados de forma continua por procesos de erosión fluvial. En la Figura N° 4.a y 4.b se observa una retracción significativa de la línea de costa en el tiempo, que podría generar consecuencias negativas al reactivar el cauce secundario alrededor de la isla y afectar múltiples edificaciones.

Para la reducción de la erosión fluvial en los sectores norte y este de la isla, se recomienda que las líneas de costa sean reforestadas. De acuerdo con Alvarado García (2016), la vegetación previene los procesos erosivos, dado que incrementa la resistencia hidráulica del terreno al aumentar la estabilidad de los agregados del suelo. Se recomienda reforestar con especies el bosque nativo, dado que las especies exóticas podrían generar mayores desventajas comparativamente (Huber et al., 2010).

Se propone adicionalmente, la substitución de los tres terraplenes actualmente utilizados para acceder a La Herradura (Figura N°1 y N°2.a) por puentes con mayor área debajo del mismo. Los terraplenes podrían ser bloqueados por material arrastrado por la corriente durante eventos de inundación y/o caudales significativos, lo que podría generar pequeños embalses que incrementen el nivel de agua y repercutan consecuentemente en las edificaciones próximas a la costa.

De forma interconectada a los puentes, las obras viales existentes y proyectadas en la isla deben ser además consideradas como obras hidráulicas dado que, según Bertoni (2019) pueden acelerar, retardar o desviar el escurrimiento superficial durante inundaciones. Si bien se desacon-

seja la pavimentación de la red vial interna de la isla con materiales tradicionales que provocan impermeabilización del suelo y disminuyen la capacidad de infiltración, las calles más importantes deberían pavimentarse debido a su potencial como vías de escape. En este caso, se sugiere que dicha pavimentación (y en cualquier otro sector de la isla) sea realizada de concreto permeable con alta capacidad de absorción, que favorezca una rápida infiltración, acompañada de una elevación de la calle sobre el nivel del terreno, con refuerzos laterales que protejan la integridad de la estructura más un sistema de alcantarillado que permita el paso del agua durante las inundaciones. Una medida conveniente también sería la incorporación de un sistema de desagüe mediante acequias en el entramado vial interno de la isla.

Con respecto a las medidas de mitigación no estructurales, se recomienda en primer lugar cambios y/o mejoras en el CPUR. Considerando que las construcciones tradicionalmente en la isla se realizan a nivel del terreno y se proyecta una expansión urbana en sectores antiguamente inundados (Figura N° 4.d), se sugiere que las nuevas edificaciones sean construidas en altura sobre pilotis de concreto, tentativamente por encima de 1.5 - 2.0 m sobre el terreno rellenado de forma antrópica. Ello se fundamenta en el hecho de que las construcciones en contacto con el suelo para dichos sectores serían más propensas a ser afectadas por inundaciones, las cuales a su vez tardarían más tiempo en dispersarse al existir una mayor impermeabilización. Dado que el CPUR para la zona ribereña e islas permite la edificación con un máximo de 8.0 m de altura y un solo nivel, sería conveniente que la planta baja se encuentre libre, con un suelo permeable y un uso potencial como estacionamiento, jardín u otro con características similares.

El CPUR debería considerar adicionalmente para la zona ribereña e islas, la reglamentación de edificaciones con basamentos de mayor resistencia que las habituales en la ciudad de Plottier, dado que podrían presentar problemas a largo plazo en su estructura física al proyectarse en su mayoría sobre antiguas lagunas y espacios inundables. Es posible que existan fracturas y/o colapsos de las edificaciones con el pasar del tiempo, en caso de no considerarse que el material de relleno fue depositado y compactado de forma antrópica, donde las oscilaciones del nivel freático vinculados a los cursos de agua podrían socavar o erosionar subterráneamente.

Teniendo en cuenta los beneficios expuestos anteriormente de los espacios cubiertos con vegetación arbórea y, la capacidad que posee la misma para disminuir la erosión hídrica superficial y favorecer la infiltración del agua hacia niveles inferiores del suelo (Zapata-Sierra y Manzano-Aguigliaro, 2008), se sugiere el establecimiento obligatorio de arbolado interno en cada parcela del nuevo barrio dentro del CPUR. De igual manera, los nuevos espacios verdes proyectados deberían incorporar árboles, procurando que su uso recreativo mediante parques y juegos saludables mantenga el suelo con condiciones permeables (Figura N°2.e). Además, se podría reducir la superficie de reserva fiscal en un 6.7% para la incorporación de arbolado y correcta adecuación al CPUR, incrementando en 16,469.4 m<sup>2</sup> el área con vegetación. Complementariamente, es necesaria una regulación municipal del arbolado existente en la isla, a fin de disminuir y/o erradicar la tala indiscriminada.

Respecto a las lagunas y áreas pertenecientes a humedales que aún perduran en La Herradura y la tendencia de rellenarlas para generar nuevos espacios donde urbanizar, es necesario que el CPUR incorpore a su normativa la conservación de estas mediante la prohibición de su relleno, al actuar como captadoras naturales de agua durante las inundaciones. Es por ello que se sugiere

un cambio de enfoque de este tipo de ambientes, a través de una mayor vinculación con los sectores educativos, turísticos y científicos, y valorizando el paisaje, su biodiversidad y uso recreativo mediante la creación de un Área Protegida Municipal.

La educación de las personas acerca del cuidado del medio ambiente ribereño, apoyado en un centro de interpretación, cartelería indicativa, sitios para la observación de aves regionales y migratorias, entre otros, sería favorable para el cuidado y mantenimiento de los humedales (y por ende de sus lagunas), así como también del espacio utilizado actualmente como balneario al sur de la isla (Figura N° 2.d). Considerando además que estos sectores son de vital importancia para la atenuación del impacto de las inundaciones, es necesaria su preservación mediante la prohibición de nuevas edificaciones y la incorporación de un programa municipal para capacitar a la población sobre este tipo de fenómenos hídricos, los peligros que implican, las medidas a realizar en caso de ocurrencia, entre otros.

Otra medida para la disminución del impacto de los eventos hídricos podría realizarse a partir de la incorporación de un seguro contra inundaciones, especialmente aquellas edificaciones con uso residencial que se localicen en el nuevo sector proyectado. Si bien en Argentina aún se no encuentran implementados productos masivos de seguro que ofrezcan una cobertura adecuada contra inundaciones (Comercio y Justicia, 2016), más allá de la industria automotriz y agropecuaria, ya se encuentra ampliamente difundido en países desarrollados (Jiang et al., 2019). Su incorporación en el mercado argentino en los próximos años supondría un beneficio considerable durante futuros eventos en este sector del río Limay para los asegurados, al transferir el riesgo a las (re) aseguradoras y minimizar así el impacto económico en caso de pérdidas parciales y/o totales.

Sería conveniente además la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT), que permita conocer de forma anticipada aumentos del caudal del río Limay a los habitantes de las zonas ribereñas. Se sugiere un mecanismo de fácil acceso, tal como creación de una aplicación para teléfonos celulares que difunda el caudal regularmente y permita la emisión de avisos con interés hídrico.

Las medidas sugeridas anteriormente, deberían ser acompañadas mediante la creación e implementación de un plan de evacuación, actualmente inexistente de acuerdo a las entrevistas realizadas. En función del plan, los organismos competentes (bomberos, policías, AIC -Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro-, defensa civil, etc.) podrían articular, capacitar y organizar a los habitantes de la isla, sistematizar los equipamientos necesarios para evacuar, implementar simulacros, entre otros. En caso de ser ejecutada una evacuación por altos niveles del río que representen un peligro para la población, es necesario cortar sistemáticamente los servicios básicos de gas y electricidad a fin de evitar daños por explosión y/o electrocución; por lo que es esencial consecuentemente que se incorpore un sistema de iluminación nocturna de emergencia en altura.

Por último, se recomienda el traslado de la planta de residuos cloacales a otro sector del ejido de la Municipalidad de Plottier (Figura N°1), dado que la misma se encuentra a 25.0 m del río principal y próxima a los sectores inundables, representando una amenaza potencial adicional para la salud de las personas durante eventos hídricos extraordinarios. La planta se encuentra emplazada además a 1.5 km aguas arriba del balneario público al cual concurren miles de personas durante

el período estival y que, si bien la calidad del agua en este sector del río Limay ha sido calificada como apta para su “uso recreativo con contacto directo para la temporada estival”, la presencia de microorganismos fue confirmada por Kovich (2019), afectando la calidad sanitaria, a la salud de las personas y al ambiente. Por ello mismo, la urbanización futura en las zonas ribereñas e islas requiere de una mejor proyección en el sistema cloacal acorde a necesidades presentes y futuras, centralizándose por fuera de la zona de riesgo de inundación.

## Conclusión

En el período 1960-2019, el río Limay presentó comportamientos hidrográficos claramente diferenciales debido a la creación de represas, por la atenuación del flujo y la modificación de la cantidad y magnitud de las crecidas que producen inundaciones. Las obras hidroeléctricas realizadas durante la segunda mitad del siglo XX provocaron cambios en la variabilidad hidrográfica y las áreas de asentamiento poblacional de la Norpatagonia Argentina; consecuentemente, la urbanización a escala regional se desarrolló sobre sectores inundables. Este es el caso de la isla La Herradura, que presentó un aumento en la exposición de la población y la infraestructura existente. Simultáneamente, los cambios en la morfología de la isla afectaron el sistema hídrico y ecológico al desconectar áreas inundables naturalmente, lo que podría tener consecuencias negativas durante eventos hídricos futuros y acentuarse debido al proyecto de urbanización actual.

El impacto antrópico reciente sobre las lagunas y sectores de humedales no contribuye al control de las inundaciones, dado que, al modificar su función hídrica y ecológica, disminuye su capacidad atenuadora de los caudales y traslada las inundaciones aguas abajo. Precisamente en caso de eventos hídricos extremos, las inundaciones serían más severas en la Ciudad de Neuquén, Cipolletti, General Roca y otros centros poblados de menor tamaño, al recibir mayor cantidad de agua.

Este trabajo propone medidas de mitigación estructurales y no estructurales, teniendo en consideración que la urbanización futura de la isla aún puede planificarse con el objetivo de reducir el riesgo de inundación. Dichas medidas deberían ser incorporadas complementaria y simultáneamente dentro del planeamiento territorial de isla, suponiendo una mayor seguridad de sus habitantes y un mantenimiento de la integridad de la isla. Se recomienda que el Estado provincial y las organizaciones que trabajan cooperativamente en el manejo del agua, ejerzan su control sobre la aprobación de proyectos urbanísticos, a fin de reducir problemáticas futuras de carácter hídrico, tales como víctimas fatales, evacuaciones masivas, pérdidas de infraestructuras vitales, contaminación ambiental, entre muchas otras.

## Agradecimientos

Quisiéramos agradecer a Leonardo Datri, Milena Fernandez Oddo, Paula Diaz, Verónica Gil, Jorge Bialous, Romina Rauque, Ailín Marecos, Luciana Campos, Luciano Boyero y Clara Rodríguez-Morata, por sus aportes, sugerencias y críticas constructivas interdisciplinarias que permitieron una mejora significativa del trabajo. Valoramos también la información de base provista por el Sistema Nacional de Información Hídrica y la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro.

## Referencias

ALVARADO GARCÍA, V. La vegetación como factor de control de la erosión. *Repertorio Científico*, 2016, Vol. 19, Nº 1. Disponible en Internet: <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/repertorio/article/view/2529>

ARAGÓN-DURAND, F. Inundaciones en zonas urbanas de cuencas en América Latina. Lima: Soluciones Prácticas, 2014.

BARRA, D.E. Determinación del riesgo por inundación en el valle del río Limay; Tramo Arroyito-Confluencia. Tesis de Licenciatura. Ciudad de Neuquén: Universidad Nacional del Comahue, 2019.

BERTONI, J.C. Medidas estructurales. En: FENOGLIO, E.P. Inundaciones urbanas y cambio climático: recomendaciones para la gestión. Buenos Aires: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2019, p. 63-71.

CIBILS, F. & CHANOURDIE, E. Ferrocarriles proyectados en el Neuquén y las inundaciones en el río Negro. Buenos Aires: Instituto Geográfico Argentino, 1899.

COGLIATI, M.G.; OSTERTAG, G.; CASO, M.; FINESSI, F.G. & GROCH, D. Análisis del balance hídrico medio mensual en la provincia del Neuquén (Argentina). *Boletín geográfico*, 2018, Vol. 40, Nº 2. Disponible en Internet: <http://revele.uncoma.edu.ar/htdoc/revele/index.php/geografia/article/view/2163>

COMERCIO Y JUSTICIA. Swiss Re, pionera en extender pólizas contra inundaciones, 2016. (Consulta 16/06/2020). <https://comercioyjusticia.info/blog/negocios/swiss-re-pionera-en-extender-polizas-contra-inundaciones/>

CONTRERAS, F.I.; MAVO MANSTRETTA, G.M.; PICCOLO, M.C. & PERILLO, G.M.E. Spatio-temporal variability monitoring of the floods in the center-west of the Buenos Aires province (Argentina) using remote sensing techniques. The role of sand dunes. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 2021, Vol. 47, Nº 2. doi: <http://doi.org/10.18172/cig.4477>

DANILUK, L.M. Condiciones de seguridad previstas para la evacuación poblacional en caso de emergencia hídrica en la Ciudad de Neuquén en el año 2018. Tesis de Licenciatura. Ciudad de Neuquén: Universidad Nacional del Comahue, 2018.

DATRI, L.; FAGGI, A.; GALLO, L. & CARMONA, F. Half a century of changes in the riverine landscape of Limay River: the origin of a riparian neoecosystem in Patagonia (Argentina). *Biological Invasions*, 2016, Vol. 18. doi: <https://doi.org/10.1007/s10530-016-1114-5>

DRN (DIARIO RÍO NEGRO). Neuquen y Plottier: el Limay hace estragos: casi cien personas debieron dejar sus viviendas, 2006a. (Consulta 10/06/2020). <http://www1.rionegro.com.ar/diario/2006/07/27/20067v27f11b.php>

DRN (DIARIO RÍO NEGRO). La Herradura: repararon el puente, pero falta energía, 2006b. (Consulta 10/06/2020). <http://www1.rionegro.com.ar/diario/2006/07/28/20067v28f20e.php>

EREMCHUK, J.E. Geoamenazas por inundaciones de las geoformas fluviales de áreas urbanas y rurales de los principales ríos del centro y este de la provincia de Catamarca. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*, 2019, Vol. 42. Disponible en Internet: <https://www.editores-sasagai.org.ar/ojs/index.php/rgaia/article/view/155>

HUANG, C; CHEN, Y. & WU, J. Mapping spatio-temporal flood inundation dynamics at large river basin scale using time-series flow data and MODIS imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2014, Vol. 26. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.09.002>

HUBER, A.; IROUME, A.; MOHR, C. & FRENE, C. Efecto de las plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* sobre el recurso agua en la Cordillera de la Costa de la Región del Biobío, Chile. *Bosque*, 2010, Vol. 31, N° 3. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002010000300006>

INA (INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA). Estudio de Crecida Máxima Probable para el río Limay. Ezeiza: Instituto Nacional del Agua, 2002.

INDEC (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010 (Data set). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina, 2010.

JHA, A.; BLOCH, R. & LAMOND, J. Ciudades e Inundaciones: Guía para la Gestión Integrada del Riesgo de Inundaciones en Ciudades en el Siglo 21. Washington DC: The World Bank, 2012.

JIANG, Y.; LUO, Y. & XU, X. Flood insurance in China: recommendations based on a comparative analysis of flood insurance in developed countries. *Environmental Earth Sciences*, 2019, Vol. 78, Article 93. doi: <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8059-9>

KOVICH, M.E. Evaluación de la calidad del agua recreacional a través de la presencia de miembros del grupo enterococcus en la localidad de Plottier. Tesis de Licenciatura. Ciudad de Neuquén: Universidad Nacional del Comahue, 2019.

LAURO, C.; VICH, A. & MOREIRAS, S.M. Streamflow variability and its relationship with climate indices in western rivers of Argentina. *Hydrological Sciences Journal*, 2019, Vol. 64, N° 5. doi: <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1594820>

MALDONADO, G.I. Determinación y análisis de niveles de peligrosidad a inundaciones en el sureste de la provincia de Córdoba (Argentina). *Geografía*, 2012, Vol. 37, N° 2. Disponible en Internet: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/7690>

MITSCH, W. & GOSSELINK, J. *Wetlands*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986.

MUNICIPALIDAD DE PLOTTIER. Código de planeamiento urbano rural de la ciudad de Plottier: Documento de actualización. Plottier: Subsecretaría de Obras, Planeamiento y Catastro y Ente de Desarrollo Económico de Plottier, 2014.

NACIONES UNIDAS. Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, 2009.

PÉREZ, G.G. La conurbación en torno a la ciudad de Neuquén. Perspectiva regional y aportes para el ordenamiento territorial. Tesis de Doctorado. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2018.

PERREN, J. Pobreza y migraciones en una ciudad intermedia argentina. Una mirada desde la historia (Neuquén, 1980). Estudios demográficos y urbanos, 2015, Vol. 30, Nº 2. doi: <http://dx.doi.org/10.24201/edu.v30i2.1476>

PERREN, J; LAMFRE, L. & PÉREZ, G.G. Diferenciación socio-espacial en las ciudades intermedias argentinas. Una aproximación a la conurbación de Neuquén en el cambio de siglo. Revista de Estudios Sociales Contemporáneos, 2016, Nº 13. Disponible en Internet: <https://bdigital.uncu.edu.ar/7944>

PESSACG, N.; FLAHERTY, S.; BRANDIZI, L.; RECHENCQ, M.; GARCÍA ASOREY, M.; CASTIÑEIRA, L.; SOLMAN, S. & PASCUAL, M. Producción de agua en la cuenca del río Limay: modelado y calibración. Meteorológica, 2018, Vol. 43, Nº 2. Disponible en Internet: <http://www.meteorologica.org.ar/nota/produccion-de-agua-en-la-cuenca-del-rio-limay-modelado-y-calibracion/>

POBLETE, A.G. & PIZARRO, A.E. Pronóstico del derrame anual de río Limay con modelos empíricos basados en índices climáticos. Boletín geográfico, 2008, Nº 31. Disponible en Internet: <http://revele.uncoma.edu.ar/htdoc/revele/index.php/geografia/article/view/137>

RAMIARAMANANA, F.N. & TELLER, J. Urbanization and Floods in Sub-Saharan Africa: Spatiotemporal Study and Analysis of Vulnerability Factors - Case of Antananarivo Agglomeration (Madagascar). Water, 2021, Vol. 13, Nº 2. doi: <https://doi.org/10.3390/w13020149>

RODRÍGUEZ, M.; LEANZA, H. & SALVARREDY ARANGUREN, M. Hoja Geológica 3969-II, Neuquén, provincias del Neuquén, Río Negro y La Pampa. Buenos Aires: Servicio Geológico Minero Argentino, 2007. Disponible en Internet: <https://repositorio.segemar.gob.ar/handle/308849217/164>

SÁNCHEZ-ALMODÓVAR, E. Medidas estructurales implementadas ante el riesgo de inundación en el núcleo urbano de Aspe (Alicante). En: CUTILLAS ORGILÉS, E. Actas de las VIII Jornadas de Investigación de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Alicante. Alicante: Universidad de Alicante, 2018, p. 237-250.

SECRETARÍA DE ENERGÍA. Recursos hídricos: Centrales hidráulicas, embalses, lagos y lagunas. Secretaría de Energía de la República Argentina, 2003.

SIMONOVIC, S. *Floods in a Changing Climate: Risk Management*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

UNITED NATIONS. *Guidelines for Reducing Flood Losses*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2002.

VALICENTI, I.J. *Amenazas en la cuenca de los ríos Limay, Neuquén y Negro*. Cipolletti: Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro, 2004a.

VALICENTI, J.L. *Cuenca de los ríos Limay, Neuquén y Negro: Relevamiento de aprovechamientos hidroeléctricos*. Cipolletti: Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro, 2004b.

ZAPATA-SIERRA, A. & MANZANO-AGUGLIARO, F. *Influencia de seis especies arbóreas en la infiltración de agua en el suelo*. *Agrociencia*, 2008, N° 42. Disponible en Internet: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v42n7/v42n7a10.pdf>