



Calidad hidrogeomorfológica en áreas fluviales de expansión urbana. Aplicación del Índice Hidrogeomorfológico (IHG) en un tramo antropizado del arroyo Napostá Grande (Argentina)

Hidrogeomorphological quality in fluvial areas of urban expansion. Application of the Hydrogeomorphological Index (IHG) in an anthropized stream (Napostá Grande creek, Argentina)

AUTORÍA

Valeria Noemí Pirchi 

Grupo de investigación Clima, Agua, Cambio Global y Sistemas Naturales. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, España.

Paula Andrea Zapperi 

Departamento de Geografía y Turismo-Universidad Nacional del Sur/CONICET, Argentina.

Antonela Volonté 

Departamento de Geografía y Turismo-Universidad Nacional del Sur/CIC, Argentina.

DOI

<https://doi.org/10.14198/INGEO.23931>

CITACIÓN

Pirchi, V. N., Zapperi, P. A., & Volonté, A. (2023). Calidad hidrogeomorfológica en áreas fluviales de expansión urbana. Aplicación del Índice Hidrogeomorfológico (IHG) en un tramo antropizado del arroyo Napostá Grande (Argentina). *Investigaciones Geográficas*, (80), 129-149. <https://doi.org/10.14198/INGEO.23931>

CORRESPONDENCIA

Valeria Noemí Pirchi (v.pirchi@gmail.com)

HISTORIA

Recibido: 18 noviembre 2022
Aceptado: 6 abril 2023
Publicado: 19 julio 2023
(Publicación anticipada: 20 junio 2023)

TÉRMINOS

© la autoría

 Este trabajo se publica bajo una licencia de [Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Resumen

La urbanización en los espacios periurbanos genera modificaciones en la dinámica natural de los procesos fluviales. Los efectos de la intervención humana son visibles en los cauces y también a través de los cambios de uso del suelo, la alteración de la cubierta vegetal y la captación de recursos hídricos. En este contexto, los indicadores hidrogeomorfológicos han adquirido relevancia como herramienta para la evaluación de estos impactos. El objetivo del artículo es evaluar la calidad hidrogeomorfológica del arroyo Napostá Grande en el tramo incluido en el periurbano de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. Se aplicó el Índice Hidrogeomorfológico (IHG) sobre sectores funcionales que permitieron interpretar a escala de tramo el comportamiento fluvial frente a las intervenciones humanas. Se compararon los valores obtenidos para 2016 y 2021. Durante los últimos 5 años la calidad hidrogeomorfológica disminuyó principalmente en los parámetros calidad de las riberas y calidad del cauce. Asimismo, las variaciones se intensifican a medida que el arroyo desciende hacia los sectores más urbanizados. En términos de salud fluvial, las valoraciones del índice y la identificación de procesos como la simplificación del cauce expresan síntomas de deterioro que podrían demandar la implementación de medidas de restauración fluvial.

Palabras clave: arroyo Napostá Grande; cauce periurbano; calidad hidrogeomorfológica; restauración fluvial; Índice Hidrogeomorfológico (IHG).

Abstract

Peri-urbanization changes the natural dynamics of fluvial processes. Human intervention can be seen in the riverbeds and also in land use changes, vegetation cover variations, and the capture of water resources. As a result, hydrogeomorphological indicators have become relevant for evaluating these impacts. In this article, the hydrogeomorphological quality of the Napostá Grande stream in the peri-urban area of Bahía Blanca, Argentina, is evaluated. The Hydrogeomorphological Index (IHG) was applied to functional sectors in order to analyze fluvial behavior against human intervention on a section scale. We compared the values obtained in 2016 and in 2021. Over the last five years, the hydrogeomorphological quality decreased mainly in the parameters of the quality of the riparian corridor and the quality of the channel. Likewise, variations intensify as the stream descends towards the more urbanized

sectors. In terms of river health, the evaluations of the index and processes such as streamlining the channel show signs of deterioration that may require river restoration measures.

Keywords: Napostá Grande stream; peri-urban channel; hydrogeomorphological quality; river restoration; Hydrogeomorphological Index (IHG).

1. Introducción

Los sistemas fluviales se caracterizan por tener un funcionamiento complejo con múltiples variables interactuantes a diferentes escalas espaciales y temporales. Se trata de un sistema dinámico, que a través del tiempo se modifica debido a los procesos erosivos, de sedimentación y transporte, a los cambios climáticos, las modificaciones del nivel de base, la tectónica cuaternaria y las actividades humanas (Stevaux & Latrubesse, 2017). La degradación ambiental en las cuencas producto de las actividades antrópicas ha alterado muchas de las funciones hidrogeomorfológicas, ecológicas y bioclimáticas que, directa e indirectamente, influyen en los sistemas fluviales. Es por ello que, en los últimos años, la geomorfología fluvial ha tomado un rol muy importante en cuanto a la valoración, ordenación, conservación y mejora de los sistemas fluviales sometidos a dichas modificaciones antrópicas (Goudie, 2006; Horacio, 2014; Leopold et al., 2020).

Uno de los principales fenómenos urbanos del siglo XXI consiste en la acelerada urbanización de las periferias de las ciudades (Simon, 2008). La presión antrópica sobre las condiciones ambientales de estas zonas se deriva principalmente de la interacción entre usos productivos y residenciales y la construcción de la infraestructura que ello implica (Ortiz & Vieyra, 2018). En este sentido, tal como plantea Torres-Lima y Cruz-Castillo (2019) los procesos de expansión urbana degradan los ecosistemas adyacentes a los asentamientos humanos. Bajo este contexto, las áreas naturales linderas a las ciudades constituyen espacios con una verdadera necesidad de protección.

La acción antrópica puede modificar, interrumpir y, en algunos casos, desconectar la dinámica natural de los procesos hidrológicos, alterando los elementos naturales de estos sistemas fluviales (Conesa García et al., 2012). El papel protagonista que adquieren las sociedades como agentes modificadores de los sistemas naturales ha generado el incremento de los estudios vinculados a las transformaciones sobre las cuencas, principalmente en estas áreas urbanas. Este complejo y acelerado proceso de transformación desencadena diversos efectos sobre la dinámica hidrológica y geomorfológica y genera alteraciones en la dinámica natural de los ambientes y en especial en la zona ribereña (González, 2018). Asimismo, los efectos de la transformación de usos y cobertura del suelo, la alteración de la cubierta vegetal y la construcción de infraestructuras hidráulicas son visibles en la totalidad del territorio fluvial (Miller et al., 2014). De esta manera, el conocimiento detallado de los aspectos hidromorfológicos de los espacios fluviales es fundamental, más aún cuando el grado de deterioro producto de las presiones antrópicas requiere llevar a cabo acciones de restauración.

En este contexto los indicadores hidrogeomorfológicos han adquirido relevancia que se ve reflejada en el incremento que han tenido los estudios relacionados a su aplicación, como así también en la generación de metodologías de evaluación de la calidad hidrogeomorfológica. Uno de esos indicadores es el Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR), el cual surge en la Universidad de Barcelona y busca establecer un índice de calidad para valorar el estado de conservación de los bosques de ribera de manera rápida y eficaz (Munné et al., 1998; Gutiérrez & Alonso, 2000; Rodríguez-Téllez et al., 2012; Carrasco et al., 2014). El Índice de Hábitat Fluvial (IHF) es otro de los indicadores que ha sido utilizado y cuyo desarrollo fue para evaluar la heterogeneidad del hábitat de cauces fluviales en los ríos mediterráneos considerando 7 aspectos del cauce y las riberas (Pardo et al., 2002; Palma et al., 2009; Neuling, 2012; Solas-Francés, 2017). Existen otros índices reconocidos, como por ejemplo el Morphological Quality Index (MQI) (Rinaldi et al., 2010), el Riparian Forest Evaluation (RFV) (Magdaleno et al., 2010) y el River Habitat Survey (RHS) (Raven et al., 1998). En estos casos el propósito general es evaluar y monitorear los cursos fluviales, analizando el cauce, orillas, riberas y zonas de inundación.

El elegido para evaluar el estado ecológico de un tramo del arroyo Napostá Grande (Bahía Blanca, Argentina) es el Índice Hidrogeomorfológico (IHG) (Ollero et al., 2009). Su elección se justifica en que evalúa de forma integrada la calidad funcional del sistema fluvial, la calidad del cauce y la calidad de las riberas. A su vez, estas valoraciones son cuantificables lo que facilita los análisis comparativos tanto a nivel espacial como temporal. El IHG ha sido aplicado en más de 60 cursos fluviales de diferentes lugares del mundo (Ollero et al., 2021) y ha sido utilizado tanto para el diagnóstico hidrogeomorfológico, centrándose en las dimensiones e intensidad de los impactos sufridos en el curso fluvial (Horacio et al., 2018; Volonté & Gil, 2021) como así también para la elaboración de propuestas de restauración fluvial con criterios hidrogeomorfológicos (Barboza et al., 2018).

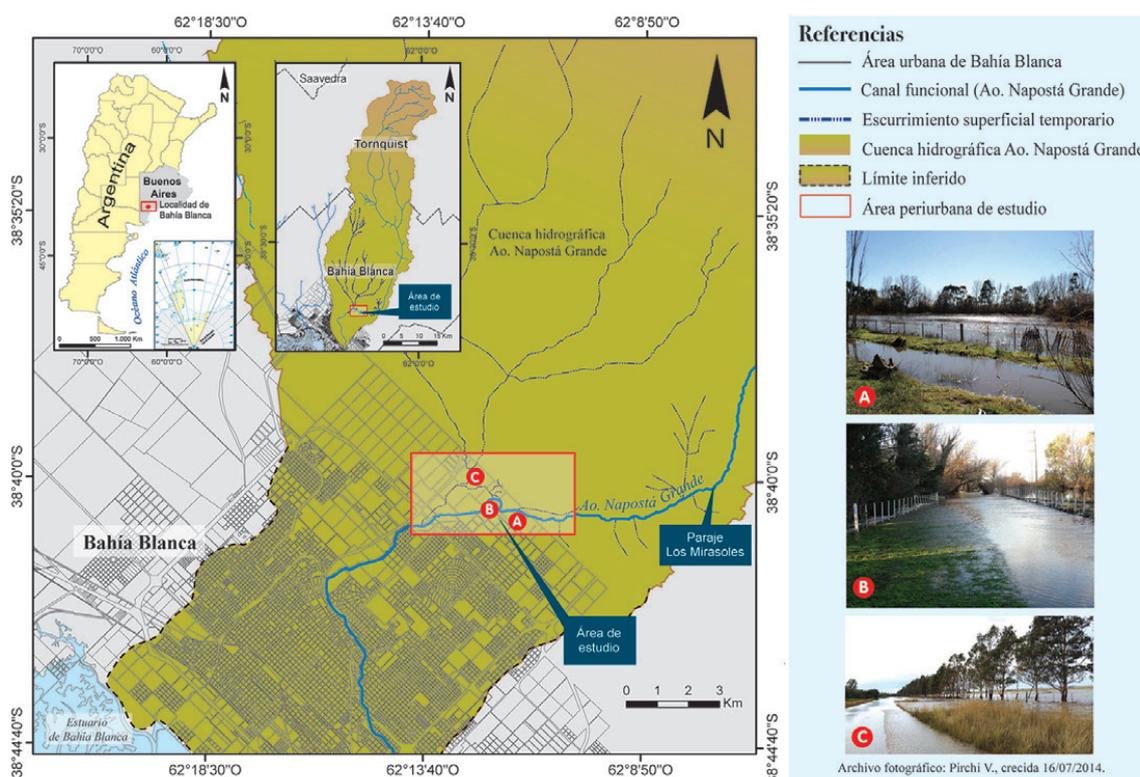
El sector norte del periurbano de la ciudad de Bahía Blanca presenta como rasgo característico la combinación de usos y coberturas del suelo asociadas tanto al ámbito urbano como a las actividades propias del espacio agropecuario (Montico, 2020). La presencia del arroyo Napostá Grande contribuyó a que desde mediados del siglo XIX se instalen quintas hortícolas y, décadas más tarde, complejos recreativos (Pirchi, 2019). En el año 2010 la sanción del Plan Director del Periurbano Bahiense (Ordenanza municipal N°15637/10) establece para el área un uso de suelo residencial de baja densidad, por lo que comienza a ganar preponderancia entre los ya establecidos. Partiendo de esta modificación en el uso de suelo, el objetivo del presente trabajo es evaluar la calidad hidrogeomorfológica del arroyo Napostá Grande en el tramo incluido dentro del periurbano de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. Específicamente, se busca conocer si el avance en la ocupación en los últimos años ha significado un deterioro en la funcionalidad y calidad del sistema fluvial. Para ello, se comparan los valores obtenidos de la aplicación del IHG para el 2016 y 2021 y se focaliza el análisis en la potencialidad metodológica del índice a través de las distintas categorías de evaluación que plantea.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

El área de estudio es un tramo de 6,5 km que corresponde a la cuenca baja del arroyo Napostá Grande y escurre en el sector norte del periurbano de la ciudad de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 1). Esta localidad conforma el aglomerado urbano-portuario de mayor relevancia económica de la región suroeste de la citada provincia. Se estima que la población es 311.175 habitantes (Dirección Provincial de Estadística, 2016). De esta manera, gran parte de la trama urbana se extiende sobre la llanura aluvial del mencionado arroyo, que tiene sus nacientes a 100 km de distancia en el sistema de Ventania y constituye el curso principal de la cuenca hidrográfica Napostá Grande. Esta cuenca pertenece a la vertiente atlántica, desembocando en el estuario de Bahía Blanca.

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio



Fuente: Pirchi (2019)

El tramo estudiado se extiende sobre una llanura de inundación de tipo aluvial frecuentemente inundada por las crecidas del arroyo y con una carga sedimentaria compuesta fundamentalmente por arena y limo (Pirchi, 2019; López et al., 2021). Desde el punto de vista topográfico, se trata del sector de mayor altura de la ciudad con valores altimétricos que varían entre 35 y 50 m s.n.m. Por sus características climáticas, el área de estudio está comprendida en la zona de climas templados con diferencias térmicas estacionales marcadas.

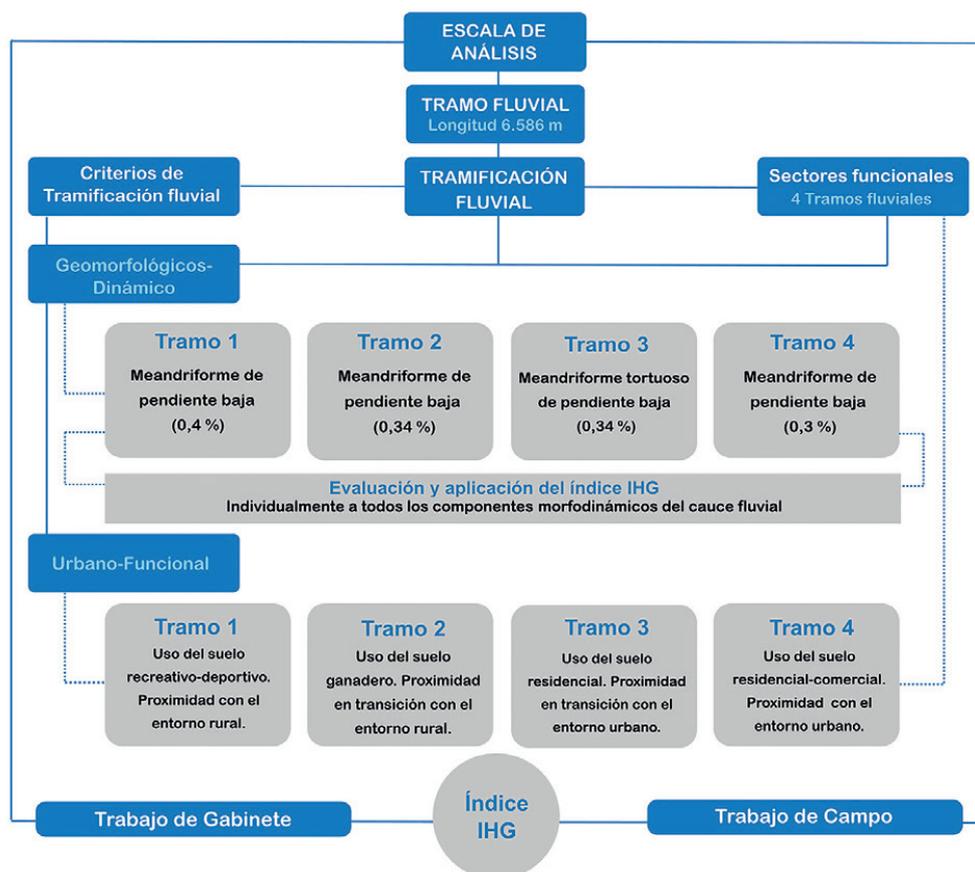
La precipitación media anual para el período registrado entre 1960 y 2014 fue de 644,6 mm, con variaciones interanuales que van desde 354,7 mm a 1.083,6 mm (Ferrelli, 2016). Si bien esta variabilidad responde a la dinámica de las masas de aire que definen el clima de la región, se ha comprobado también la influencia del fenómeno El Niño Oscilación Sur (ENOS) (Aliaga et al., 2017). En este sentido, la alternancia de períodos húmedos y secos se refleja en el área de estudio a partir de fuertes estiajes. Cabe aclarar que la ausencia de datos de aforo dificulta el análisis del impacto de la variabilidad mencionada en términos de caudal como tampoco permite precisar la magnitud de las alteraciones identificadas sobre el caudal circulante.

El módulo medio anual de régimen permanente, es de 0,90 m³/s aunque presenta caudales variables con picos muy marcados (220 m³/s) y escaso flujo en época de estiaje (0,06 m³/s) (Paoloni, 2010; Cerana & Varela, 2013). Las avenidas originadas en la cuenca superior provocan frecuentes desbordes y anegamientos en la cuenca inferior. En este sector, el cauce principal es conductor de caudales alóctonos, pues no recibe adiciones significativas (Fernández et al., 2017). A su vez el valle fluvial responde a un control estructural evidenciado por un cambio de dirección del cauce principal que pasa a escurrir de este a oeste. Esta disposición del drenaje coincide con una falla regional del basamento, producto de la neotectónica que afectó a la región durante episodios de la orogenia andina (González et al., 1988).

2.2. Tramificación en sectores funcionales

Para la aplicación del IHG sobre el tramo de estudio (longitud total de 6.586 m) se determinaron sobre el mismo 4 sectores funcionales que conforman tramos homogéneos desde el punto de vista hidrogeomorfológico y funcional. Para ello, como se muestra en la Figura 2, se consideró un criterio Geomorfológico-Dinámico y otro Urbano-Funcional.

Figura 2. Esquema de trabajo para la tramificación en sectores funcionales

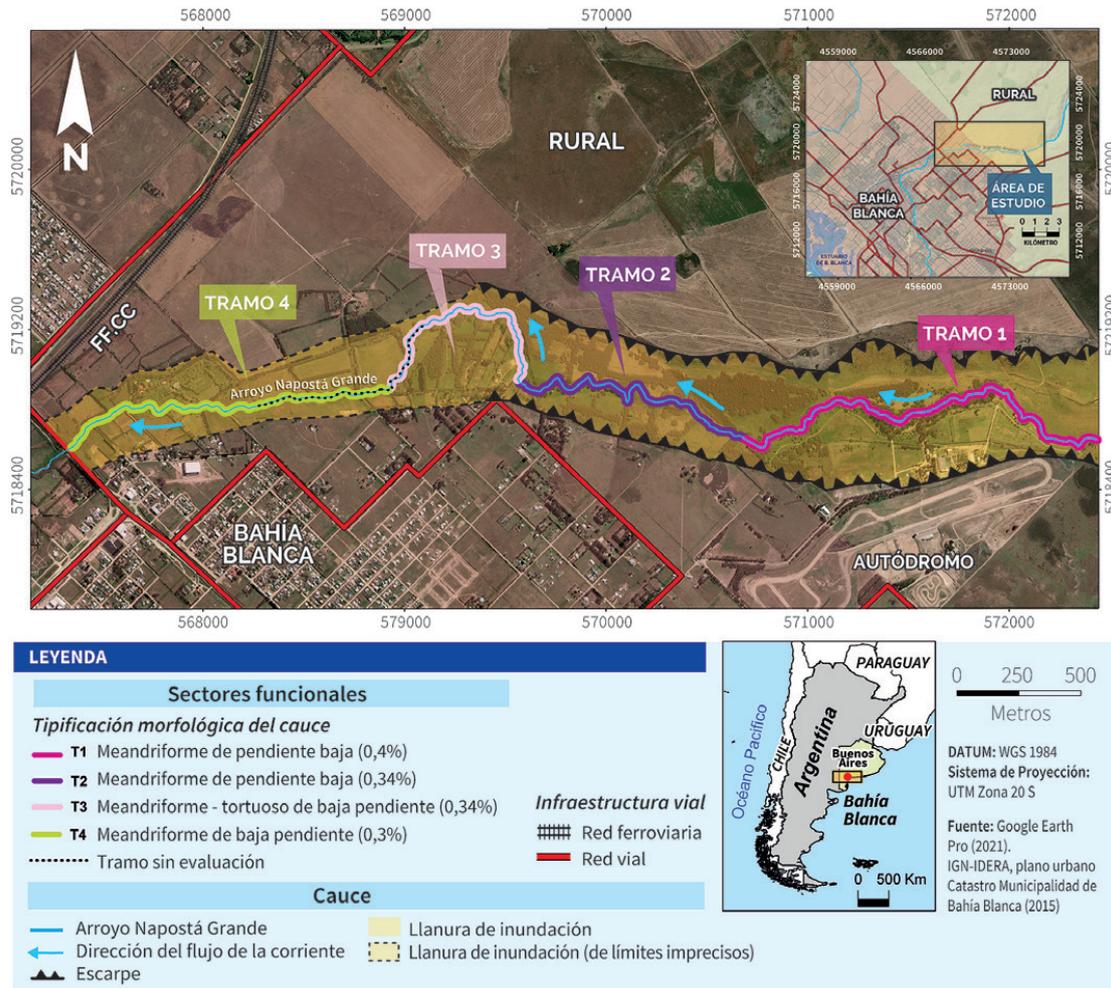


Elaboración propia

Para la implementación del primero (Criterio Geomorfológico-Dinámico), se consideró el estudio iniciado por Pirchi (2019), que caracterizó hidrogeomorfológicamente al sector con el objetivo de generar información de base para una posterior evaluación de la calidad hidrogeomorfológica. De esta manera, la definición de los tramos implicó un análisis morfométrico en el que se consideraron parámetros como la pendiente local y la sinuosidad del canal. Las variaciones de este último parámetro (Figura 3) dan muestra de su pertinencia en

la diferenciación geomorfológica del cauce. Por otra parte, para responder al criterio Urbano-Funcional, se tuvo en cuenta el uso de suelo predominante y la distancia al área urbana o al área rural en función de cuál de ellas presentó mayor proximidad.

Figura 3. Tramificación fluvial en sectores funcionales



Elaboración propia

Así mismo, el antecedente de Pirchi (2019) también se consideró para la aplicación del índice sobre los sectores funcionales. Específicamente, la identificación de presiones e impactos que requiere la implementación del índice fue acompañada de un análisis morfodinámico para reconocer procesos de erosión y sedimentación que afectan a la forma y a la evolución del cauce. Para ello, se consideraron los componentes del cauce fluvial propuestos por Pedraza Gilsanz (1996): canal funcional o lecho menor, orillas o riberas, canal *bankfull*, llanura de inundación.

2.3. Índice Hidrogeomorfológico (IHG)

La aplicación del IHG se efectuó individualmente sobre los cuatro sectores funcionales sucesivos. El método consiste en evaluar tres bloques que comprenden los indicadores de (I) calidad funcional del sistema fluvial, (II) calidad del cauce y (III) calidad de las riberas. Cada uno de estos bloques tiene 3 parámetros, analizando en total 9 parámetros (Tabla 1). Para la evaluación, cada parámetro se puntúa de 0 a 10 asignándole una puntuación máxima de 10 (estado natural) y mínima de 0 (alteración total). La valoración final puede hacerse de manera parcial, de acuerdo con cada bloque (I- II- III) o de manera integral, considerando el total de los parámetros analizados (Tabla 2).

Por otra parte, se ha realizado una doble valoración del IHG, en el año 2016 y en el año 2021, a la vez que se ha diseñado un nuevo sistema de representación a partir de gráficos de pirámide, con el objeto de comparar la calidad hidrogeomorfológica en los sectores del arroyo que están siendo impactados por el crecimiento urbano y otros tipos de intervenciones humanas.

Tabla 1. Indicadores y parámetros de evaluación

Indicador de calidad	Parámetros		
I	Calidad funcional del sistema 	A	Naturalidad del régimen de caudal
		B	Disponibilidad y movilidad de sedimentos
		C	Funcionalidad de la llanura de inundación
II	Calidad del cauce 	D	Naturalidad del trazado y de la morfología en planta
		E	Continuidad y naturalidad del lecho, de los procesos longitudinales y verticales
		F	Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral
III	Calidad de las riberas 	G	Continuidad longitudinal
		H	Anchura del corredor ribereño
		I	Estructura, naturalidad y conectividad transversal

Fuente: Ollero et al. (2009). Elaboración propia

Tabla 2. Puntuación para la valoración del IHG

Calidad hidrogeomorfológica	Puntuación individual por parámetro	Puntuación parcial por bloque (I-II-III)	Puntuación total
Muy buena	9-10	30-25	75-90
Buena	7-8	24-20	60-74
Moderada	5-6	19-14	42-59
Deficiente	3-4	13-7	21-41
Muy mala	0-2	6-0	0-20

Fuente: Ollero et al. (2009). Elaboración propia

2.4. Elaboración de inventario de presiones antrópicas y valoración de impactos

La identificación, seguimiento y evaluación de las presiones antrópicas, resultado del exhaustivo trabajo de campo, han sido fundamentales para poder puntuar y valorar con el IHG el impacto de cada una de las afectaciones encontradas en la geomorfología fluvial. Para ello se elaboraron fichas de evaluación para cada año (2016 y 2021) y tramo de análisis. Se actualizaron los registros de Pirchi (2019), que realizó el inventario de presiones antrópicas, impactos y alteraciones en el cauce hasta el año 2016. No obstante, debido a problemas de accesibilidad ya que algunos puntos son parte de propiedades privadas que no permiten el acceso al arroyo, algunos sitios específicos quedaron fuera de la evaluación en el 2021. En cada ficha se ingresaron los impactos relacionados con actuaciones directas sobre el canal funcional y la llanura de inundación, actuaciones relacionadas con la ocupación física de la red fluvial, con el caudal y el acuífero y actuaciones asociadas a procesos de contaminación. En el diagnóstico de campo se reconoció el estado de afección hidromorfológica en las orillas, el lecho activo e inundable, las riberas, la continuidad transversal, longitudinal y vertical del curso fluvial y en las intervenciones sobre vegetación (reforestación, tala, quema). Además, para el estudio detallado del comportamiento dinámico del arroyo se identificaron y fotografiaron cambios y continuidades en el funcionamiento hidrogeomorfológico, tanto en crecidas como estiajes, registrándose en perfiles topográficos-batimétricos y en diversas tomas fotográficas. Este registro ha sido posible con la ayuda de los avisos de alertas coordinados con los propietarios ribereños durante momentos de crecidas ordinarias y extraordinarias. Finalmente, a partir de la densidad de presiones calculada para cada uno de los sectores funcionales (Tabla 3), se efectuó el inventario de presiones antrópicas y se estableció la valoración de impacto cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Densidad de presiones antrópicas y valoración de impacto

Densidad	Número de presiones por tramo	Valoración de impacto
Baja	0 a 5 presiones	Impacto leve
Media	6 a 10 presiones	Impacto moderado
Alta	≥ a 11 presiones	Impacto intenso

Elaboración propia

3. Resultados

3.1. Contrastes en los sectores funcionales de análisis

3.1.1. Presiones e impactos que influyen en la calidad hidrogeomorfológica

El recuento de presiones en los tramos fluviales estudiados permitió verificar una intensa antropización, pues se identificaron para cada uno de ellos al menos diez presiones e impactos antrópicos (Tabla 4), a excepción del tramo 2, que es el de menor afectación, si bien se encuentra densamente colonizado por vegetación introducida. Los factores desencadenantes de los cambios identificados e incluidos en el análisis de los tramos son en su mayoría de escala local y ejercen control, fundamentalmente, en el comportamiento de los parámetros del índice asociados con la naturalidad del trazado y la morfología en planta. Asimismo, la calidad funcional del sistema se ve afectada por las modificaciones del régimen hídrico y por la obstrucción al flujo de crecida e inundación.

Con respecto a los usos del suelo, las actividades que se desarrollan en los sectores funcionales estudiados quedan comprendidas dentro de las propias de un espacio periurbano (Lorda, 2008) si bien existen diferencias según las funcionalidades específicas sobre cada uno de ellos. En este sentido, el tramo 1 corresponde al sector funcional de mayor proximidad con el espacio rural y está ocupado, casi en su totalidad, por un centro recreativo con instalaciones deportivas que incluyen un autódromo.

Tabla 4. Inventario de presiones antrópicas y evaluación de impactos

Presiones antrópicas (cauce = canal + llanura de inundación)			Sectores funcionales							
			Año 2016				Año 2021			
			T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Afecciones a la continuidad	Longitudinal	Azud	3		1	2	3		1	2
		Puente	6	1	3	3	6		3	3
		Vado				1				caída
		Paso de vehículos	1				1			
		Caminos transversales	4		2	2	4		2	2
	Transversal	Rectificación meandro	1		1		1		3	
		Defensa de margen (muro)	1				1		1	
		Canalización	5		2		5		2	
		Acequia			5	3			4	3
Otros tipos de presiones		Ampliación de la sección de desagüe	1			1			1	
		Estrechamiento por colonización de vegetación exótica			1			1	1	1
		Vertidos de escombros							1	1
		Vertidos de basura			1	1		1	1	1
		Conductos semienterrados	1				1			1
		Alcantarillas de desagües	2		3		2		3	
		Vertidos y retornos	1	1	1	2	1	1		2
		Compuerta derivador			2	3			1	3
Alteración del caudal del canal	Hídrico (extracción)	Toma directa	2		1	2	2		1	1
		Pozo freático	1		1	1	1		1	1
	Sólido* (extracción-obstrucción)	Dragados	X			X			X	
		Vegetación exótica (madera)	X		X	X	X	X	X	X
Vegetación	Autóctona*	Tala, quema			X	X		X	X	X
		Reforestación				X				X
	Exóticas*	Parquización	X				X		X	
Usos del suelo	Residencial y recreativo*	Residuos			X			X	X	X
		Bombeo piscinas	X		X	X	X		X	X
		Vertidos			X	X			X	X
		Sobreelevación del terreno	X		X		X		X	
	Hortícola, ganadero*	Riego			X	X			X	X
		Pisoteo	X	X	X		X	X	X	
	Actividad extractiva*	Extracción de áridos del cauce				X				X
Total de presiones y evaluación de impacto			35	3	32	29	33	7	36	29

* Categoría en la que se indica la ocurrencia de un determinado proceso.

Elaboración propia sobre la base de Ollero et al. (2009)

3.1.2. Características geomorfológicas que definen a los sectores funcionales

En la Tabla 5 se sintetizan las características geomorfológicas que permitieron la diferenciación del tramo en sectores funcionales (tramos 1, 2, 3 y 4). En el tramo 1 el arroyo discurre por un valle confinado, su lecho es de constitución arenosa y su profundidad puede llegar hasta 3,5 m. Es un tramo de 1.862 m de longitud con una baja sinuosidad (1,21) y pendiente local (0,4%) bajas. Los principales elementos transversales corresponden a tomas de agua y en la margen izquierda se destacan afecciones longitudinales tales como un muro como de defensa, canalizaciones y una corta de meandro con rectificación. Por otra parte, la presencia de madera muerta es escasa y su acumulación no restringe el transporte natural de sedimento.

Tabla 5. Características geomorfológicas de los tramos incluidos en el área de estudio

Sector funcional	Valle	Pendiente (%)	Sinuosidad	Tipología del cauce
Tramo 1	Confinado	0,4 %	1,21	meandriforme de baja sinuosidad
Tramo 2	Confinado	0,34 %	1,28	meandriforme de baja sinuosidad
Tramo 3	No confinado	0,4 %	1,98	tortuoso de sinuosidad alta
Tramo 4	No confinado	0,3 %	1,12	meandriforme de baja sinuosidad

Elaboración propia

El tramo 2 tiene una longitud de 1.519 m y se encuentra encajado en sus propios depósitos finos de terrazas escarpadas que no superan los 5 m. La sinuosidad es baja (1,28) al igual que su pendiente (0,34%). La cría de ganado equino es la actividad característica en este sector y ocupa la llanura de inundación de fondo plano, confinado en 400 m de extensión y escasamente intervenido. Las márgenes del cauce se encuentran vegetadas, predominando el estrato arbóreo con especies nativas como *Salix humboldtiana* y exóticas como *Tamarix gallica*. El desmejoramiento del estado del cauce se debe principalmente a tres factores: la pérdida del 16% del caudal a través de una toma de agua aguas arriba, la invasión de vegetación en todo el cauce y el pisoteo de ganado que destruye las morfologías del canal.

En cuanto al tramo 3, de 1.200 m de longitud, discurre por en un valle sin límites precisos, la pendiente local es baja (0,4 %) y se destaca su alta sinuosidad (1,98). Los sedimentos del lecho siguen siendo limo-arenosos con un tamaño de mediano a fino. Históricamente este sector tuvo un uso de suelo hortícola, con lo cual las tomas de agua desde el canal para permitir el riego de los cultivos contribuyeron con la antropización del cauce. Para el año 2021 se identificó un uso de suelo predominantemente residencial, el cual abarca la llanura de inundación. En el tramo 4, de 1.785 m, el canal pierde confinamiento y hay un marcado cambio en la sinuosidad (1,12) y pendiente local (0,3%) lo que da lugar a un cauce casi recto. En el lecho continúa el predominio de arenas y aún una leve disminución de la pendiente. Este tramo es el de mayor proximidad a los barrios residenciales que ocupan el periurbano de la ciudad. El uso residencial gana protagonismo sobre las quintas que caracterizaban al sector y, de esta manera, ya para el año 2016 se desactivan la mayor parte de los pequeños canales de riego que se construyeron en el mismo.

3.2. Evolución del IHG en cada tramo para el período 2016-2021

3.2.1. Calidad hidrogeomorfológica en tramo 1

El caudal medio anual en régimen natural del arroyo Napostá Grande es 1,03 m³/s —Estación de aforo “Paraje Los Mirasoles”— (Aguas Bonaerenses S.A., 2017). En su cuenca alta y media pierde parte de sus aportes por usos agrarios, pero es en la cuenca baja en la que se da la mayor merma de caudal por estar condicionado al sistema de infraestructuras asociadas a la explotación del agua para uso industrial (azud Paraje Los Mirasoles) y de la población local (azud Empleados de Comercio) (Figura 4). En la Tabla 6 se exhibe el porcentaje de caudal que se extrae en término medio al arroyo.

En las valoraciones del IHG para el periodo 2016-2021 (Figura 5), la calidad funcional (CF) del tramo 1 disminuye de 11 puntos (deficiente) a 4 puntos (muy mala), a causa de las alteraciones en la cantidad de caudal circulante ocasionadas por el aumento del consumo de agua en momentos de menor caudal natural dejando al cauce semiseco. Tal es el caso de la época estival, dentro de la que se destacaron los veranos del año 2017 y 2021. Además, la disponibilidad de sedimentos se ha visto afectada por dragados y limpiezas efectuados en otoño de 2018, bajando su calidad de 5 a 2 puntos. En cuanto a la llanura de inundación, se mantuvo estable en calidades muy bajas (2 puntos), siendo el grado de ocupación muy dispar en ambas márgenes con presencia de alta densidad de obstáculos (equipamiento recreativo y deportivo, neumáticos fuera de uso),

canalizaciones, vados, puentes, caminos de tierra, caminos pavimentados y edificaciones sobre la margen izquierda que si bien están dispersas ocupan en un 75 % la superficie de llanura de inundación.

Tabla 6. Captación para aprovechamiento del recurso hídrico

Captación		Ubicación geográfica	Capacidad máxima de captación		
Nº	Azud		Caudal medio m^3/h	Caudal medio m^3/s	% del total
Toma 1	Paraje Los Mirasoles	Este: 576493.21 Sur: 5719666.05 a 5 km aguas arriba de la toma 2	900	0,25	24,32
Toma 2	Empleados de Comercio	Este: 572349.55 Sur: 5718587.44 inicio del tramo 1	600	0,16	16,21
Total			1.500	0,41	40,53

Fuente: Aguas Bonaerenses S.A. (2017). Elaboración propia

Figura 4. Disposición de azudes para extracción de agua en el inicio del tramo 1 (Centro Recreativo Empleados de Comercio)



Fuente: Pirchi (2019). Elaboración propia

La calidad del cauce (CC) pasó de 9 puntos (deficiente) a 5 puntos (muy mala), alcanzando las puntuaciones más bajas en el parámetro "E", debido a la existencia de puntos en los que se efectuaron dragados con extracción de sólidos durante el año 2018 (Pirchi, 2019). Estas actuaciones antrópicas provocaron cambios morfológicos en la topografía del lecho y naturalidad vertical, profundizando más de 2 metros la sección transversal y alterando la forma natural del cauce. En el año 2021, se pudo identificar acreción en el perfil topo-batimétrico del cauce por nuevas acumulaciones de sedimentos, pero no se sabe con exactitud la periodicidad de los dragados (Tabla 7). Este fenómeno de sedimentación es posible que sea una de las razones del dragado, buscando con esta actuación reducir el ingreso de sólidos y evitar la obstrucción en el área de bombeo de la toma 2. Respecto a la continuidad del cauce, es interrumpida por dos azudes, y la naturalidad de las márgenes y movilidad lateral se ven afectadas por un muro de defensa adosado a la margen izquierda que actúa simplificando a la dinámica erosiva y de desbordes. En el último año se suma el avance de especies arbustivas y herbáceas por falta de crecidas, lo que deteriora su calidad, que por lo tanto desciende en un 1 punto.

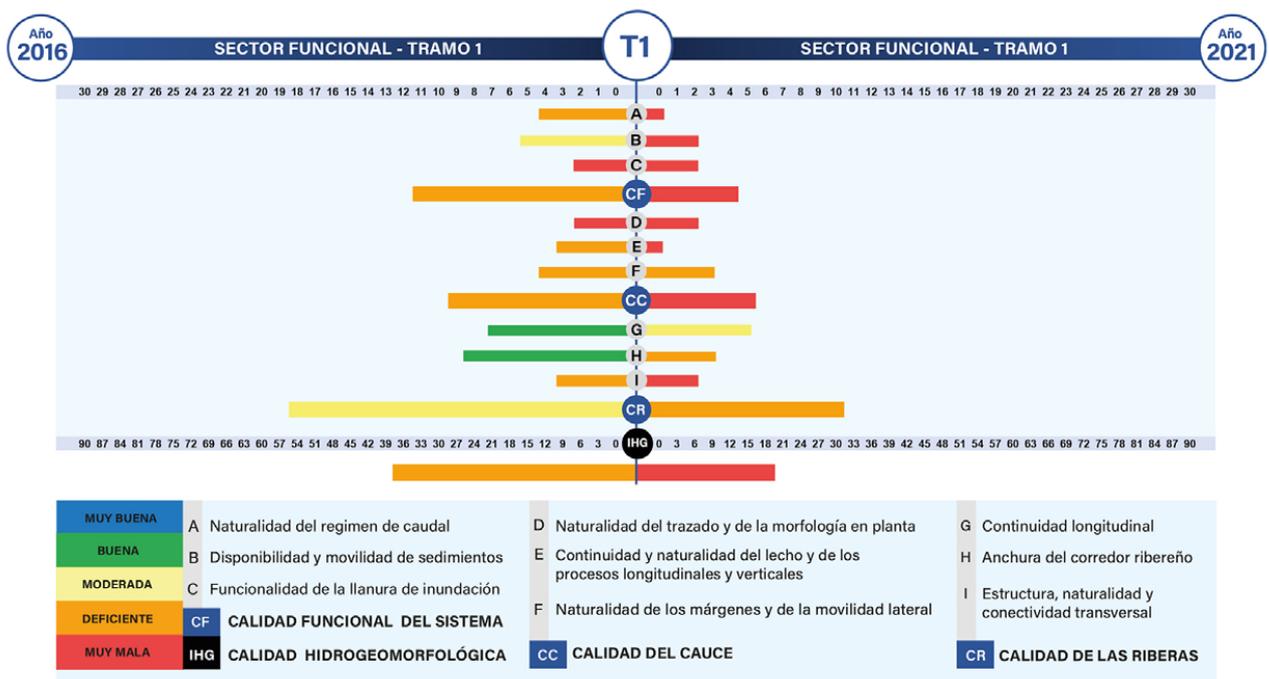
El indicador calidad de riberas (CR) ha percibido los cambios más significativos pasando de 18 puntos (moderada) a 10 puntos (deficiente). Este deterioro se debe a las alteraciones en la continuidad longitudinal por caída de árboles de las orillas producto de la erosión lateral, estos ejemplares fueron removidos por trabajos de limpiezas y reemplazados por parquización. En los registros de Pirchi (2019) se reconoce en la orilla del canal principal la presencia de raíces al descubierto como síntoma de incisión aguas abajo de los azudes y del muro de defensa y se registró también la obstrucción de la continuidad longitudinal y la movilidad lateral. Las discontinuidades se registraron en un 72 % del tramo, pero no son permanentes debido a las frecuentes tareas de limpieza que implican la remoción de madera de madera muerta y vegetación.

Tabla 7. Cambios morfológicos posteriores al dragado de 2018

Tramo 1	Geomorfología del cauce				Impacto
<i>Perfil batimétrico 3</i>	<i>Anchura</i>	<i>Profundidad</i>	<i>Caudal diario</i>	<i>Caudal bankfull</i>	<i>Afección puntual</i>
Año 2018 (otoño)	5,50 m	3,60 m	0,29 m³/s	8,02 m³/s	Ampliación de la sección, incisión y extracción de sólidos (dragado)
Año 2021 (primavera)	5,22 m	3,02 m	0,25 m³/s	7,14 m³/s	Procesos de acreción lateral y en fondo (vertical)

Elaboración propia

Figura 5. Calidad hidrogeomorfológica en tramo 1 para los años 2016 y 2021

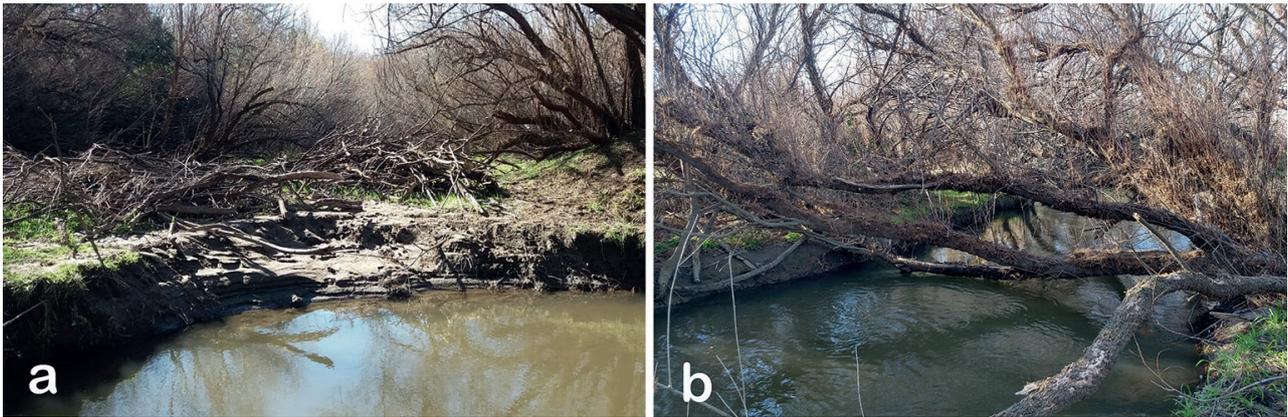


Elaboración propia

3.2.2. Calidad hidrogeomorfológica en tramo 2

En las valoraciones del índice IHG entre 2016 y 2021 la calidad funcional (CF) disminuye de 15 puntos (moderada) a 12 puntos (deficiente), lo cual es debido a las alteraciones en la cantidad del caudal circulante por la explotación del recurso (Tabla 4), principalmente durante el verano, época de mayor demanda. No obstante, cabe señalar que en este tramo hay un leve aumento en la valoración de la naturalidad del régimen de caudal que se deriva del reingreso del caudal sobrante de la toma del tramo aguas arriba. Además, no se han identificado otras presiones significativas sobre este parámetro. Caso contrario es el de los tramos 3 y 4 en los que nuevamente se realizan extracciones en terrenos particulares, principalmente para riego. En cuanto a la calidad del cauce (CC), baja de 22 puntos (buena) a 19 puntos (moderada). Este empeoramiento del estado del cauce (Figura 6) se debe principalmente al pisoteo de ganado que destruye las morfologías del canal y a la introducción de vegetación exótica, fundamentalmente de *Tamarix gallica*, que irrumpe en el canal obstruyendo la continuidad del lecho y procesos (E), la naturalidad de las márgenes y su movilidad lateral (F).

Figura 6. Modificaciones en la morfología natural

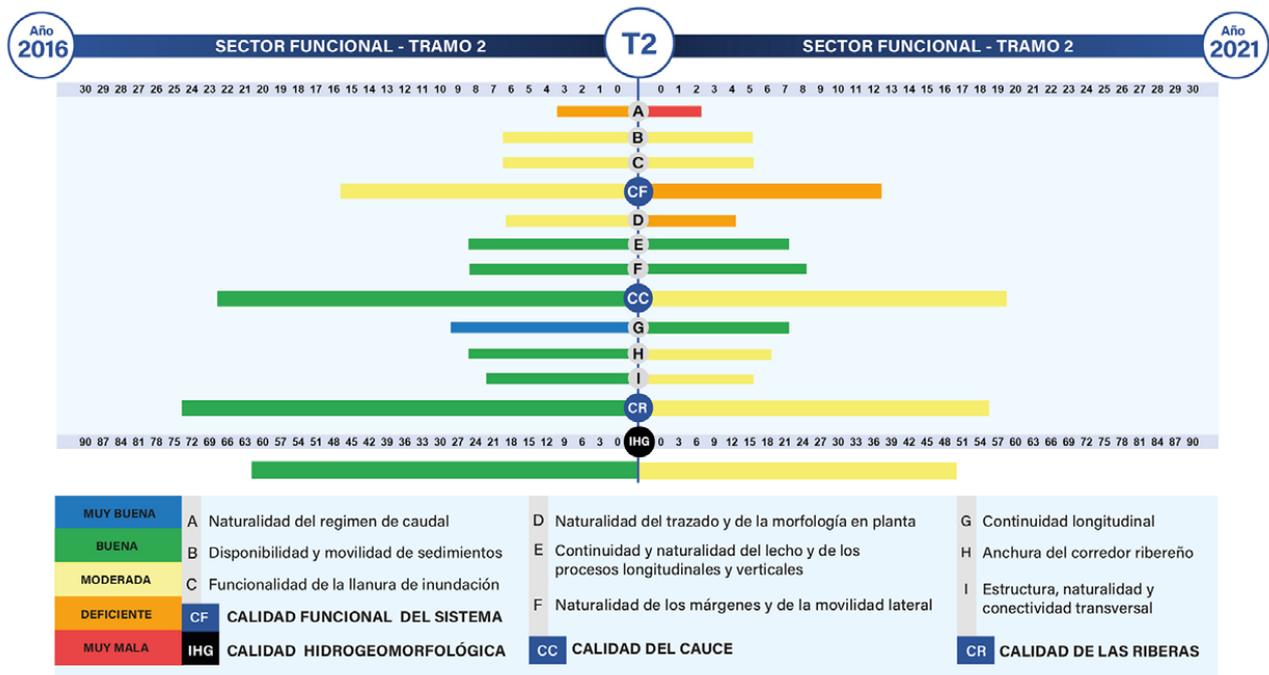


a) Alteración de morfologías por pisoteo del ganado vacuno y utilización de especies arbóreas como leña. b) Especies exóticas (*Tamarix gallica*) caídos en el canal funcional actúan como dique natural.

Fotografías de las autoras (2021)

El indicador calidad de riberas (CR) ha percibido los cambios más significativos, pasando de 24 puntos (buena) a 18 puntos (moderada). Este deterioro se debe a las alteraciones en la continuidad longitudinal por caída de árboles alóctonos de las orillas producto de la erosión lateral, abundante tala y al fenómeno de intrusión de vegetación exótica que irrumpen en el canal afectando la continuidad longitudinal (G), su estructura y la conectividad transversal (I). La vegetación del corredor ribereño al ser solo parcialmente natural se puntuó negativamente por afectar a la morfología del canal y también a la dinámica fluvial (Figura 7).

Figura 7. Calidad hidrogeomorfológica en tramo 2 para los años 2016 y 2021

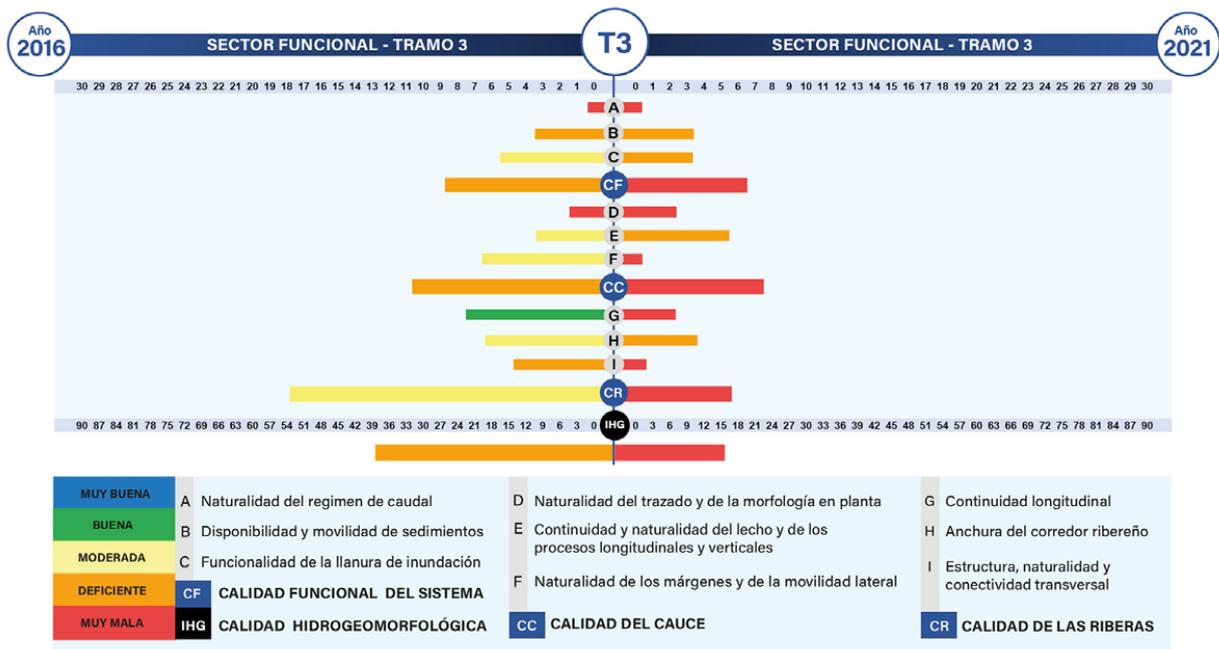


Elaboración propia

3.2.3. Calidad hidrogeomorfológica en tramo 3

Históricamente, el meandro que constituye este tramo se halla profundamente modificado por su rectificación que lo conecta a un sistema de canales y acequias que ocupan el 85% de la llanura de inundación y que en la actualidad solo llevan agua después de eventos de crecida. En las valoraciones del IHG (Figura 8), la calidad funcional (CF) del tramo disminuye de 8 puntos (deficiente) a 6 puntos (muy mala), deterioro causado por los desvíos desde compuertas hacia canales y acequias que inducen alteraciones en la cantidad de caudal circulante.

Figura 8. Calidad hidrogeomorfológica en tramo 3 para los años 2016 y 2021



Elaboración propia

Para el 2021 la rectificación antrópica se ha identificado en estado de abandono por nuevos usos residenciales y con abundante carga de sedimentos de últimas crecidas perturbando la disponibilidad y movilidad de los sedimentos (Figura 9). Aparte de esto, la construcción de un muro de hormigón de gran dimensión (3 m de alto por 50 m de longitud), construido a 2 metros de distancia del canal funcional y cercado una propiedad privada, constituye un impacto de grado intenso por impedir la movilidad lateral del arroyo y acelerar la dinámica erosiva. Esta intensa antropización disminuye considerablemente la calidad del cauce (CC) de 13 puntos (deficiente) a 4 puntos (muy mala), por restringir la movilidad del cauce y favorecer a su estabilidad.

Figura 9. Antropización en el sector funcional del tramo 3



1. Arroyo Napostá Grande. 2. Llanura de inundación. 3. Uso del suelo rural en 2015-uso residencial actual. 4. Muro de hormigón (pared). 5. Estado de abandono del canal rectificado del meandro cortado.

Fotografías de Valeria Pirchi

En cuanto al indicador calidad de riberas (CR), ha obtenido las puntuaciones de calidad más bajas de todo el tramo estudiado al reducir la calidad de 17 puntos (moderada) a 5 puntos (muy mala). Los valores de calidad más bajos registrados en los parámetros G y H disminuyeron 5 y 3 puntos respectivamente (Figura 8). Este deterioro se debe a la tala de árboles, quema y basura que en ocasiones obstruyen la continuidad longitudinal y movilidad lateral (Figura 10). Las discontinuidades se registraron superando el 75% de la longitud del tramo y de forma permanente desde los últimos años analizados. Respecto a la estructura, naturalidad y conectividad del corredor ribereño (I), continúa, al igual que el tramo anterior, la vegetación parcialmente natural y la perturbación sobre la morfología del canal y la dinámica fluvial por lo que también se puntuó negativamente.

Figura 10. Modificaciones en la morfología del cauce por madera muerta



1. Dique natural 2. Erosión 3. Sedimentación 4. Desprendimientos de orilla por erosión.

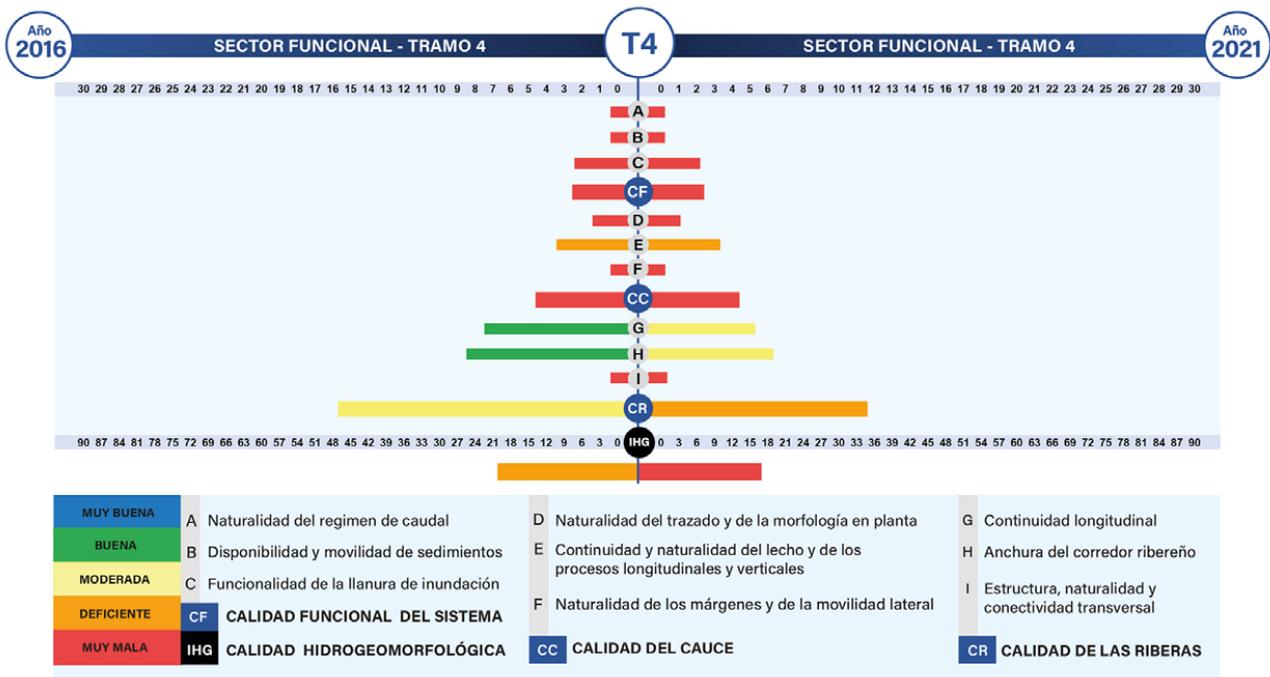
Fuente: Pirchi (2019). Elaboración propia

3.2.4. Calidades hidrogeomorfológicas en tramo 4

En este caso la calidad funcional (CF) y calidad del cauce (CC) se mantuvieron estables y sin cambios dentro de las puntuaciones más bajas con 2 y 4 puntos (muy mala) acumulativos desde los tramos anteriores (Figura 11). Los últimos dos tramos de análisis son los que alcanzaron las puntuaciones más bajas a causa de la presencia de intensa antropización por azudes, canalizaciones, acequias y tomas clandestinas, como herencia del pasado y acentuados por los actuales procesos de urbanización. En cuanto a la calidad del cauce, se ve afectada, entre otras causas, por basura, pisoteo de ganado que provoca alteraciones en las morfologías del cauce y por los trazados clandestinos para desagües pluviales y cloacales provenientes de los usos residenciales y recreativos.

La presencia de vías de comunicación (Figura 12), que se dispone de forma paralela al cauce en la margen derecha del tramo 4, constituyen obstáculos para los canales efímeros que se activan durante eventos meteorológicos extremos, interceptando el escurrimiento y reduciendo las funcionalidades de la llanura de inundación por su desconexión. Por otro lado, la dinámica de transporte de sedimento se ve obstaculizada por canales de riego, acequias, puentes con pilares y vados con tubos de drenaje. En cuanto a la calidad de riberas (CR), la misma disminuye 4 puntos entre 2016 y 2021: de 15 puntos (moderada) a 11 puntos (deficiente). Este deterioro es consecuencia de los albardones antrópicos que se encuentran longitudinales al cauce que, además de provocar un aumento acelerado de la incisión, también afectan la continuidad natural del corredor ribereño con la introducción de tamarizales (*Tamarix gallica*) y álamos (*Populus alba*) y desconectan con la llanura de inundación perdiéndose sus funcionalidades básicas de retención de agua y sedimento.

Figura 11. Calidad hidrogeomorfológica en tramo 4 para los años 2016 y 2021



Elaboración propia

Figura 12. Afecciones antrópicas en tramo 4



1. Canal funcional arroyo Napostá Grande 2. Llanura de inundación 3. Vía férrea (terraplén) 4. Carretera inundada 5. Canal temporal activo 6. Desagües pluvial, cloacal y ducto en vado con retención de carga sólida 7. Azud desmantelado parcialmente.

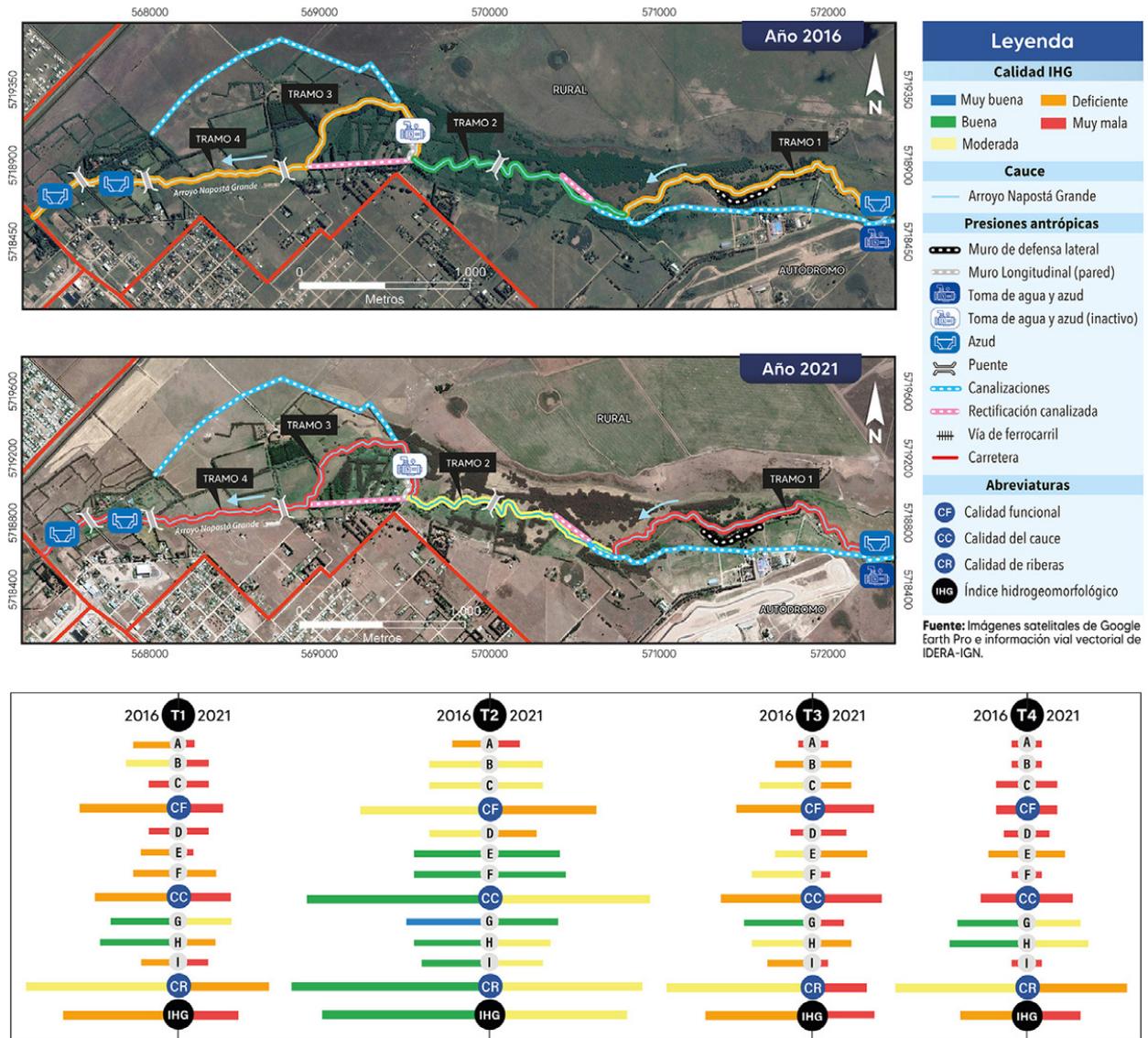
Fotografías de Diego Gasparini (superior derecha) y de Valeria Pirchi

3.3. Principales transformaciones en la valoración hidrogeomorfológica (2016 -2021)

Las transformaciones identificadas y los cambios en las valoraciones del IHG muestran la influencia de la antropización del sector norte del periurbano de la ciudad de Bahía Blanca. Durante los últimos 5 años, a

nivel general, la calidad hidrogeomorfológica en los tramos estudiados ha empeorado y solo en determinados parámetros se ha mantenido estable. Los valores totales del índice (Figura 13) oscilaron entre 61 y 15 sobre una puntuación total de 90, exponiendo en todos los casos un estado de ribera desmejorado.

Figura 13. Comparación del índice IHG para el periodo 2016-2021



Elaboración propia

En líneas generales, se observa un deterioro de la calidad hidrogeomorfológica conforme el curso del arroyo desciende hacia los sectores funcionales más urbanizados, recorriendo un sector de áreas de cultivos y pastoreo antiguas que, después de ser abandonadas, iniciaron un acelerado proceso de urbanización y repoblación vegetal que se acentúa de manera invasiva en la ribera. El descenso más bajo en la calidad hidrogeomorfológica lo han obtenido los tramos 1 y 3, respecto al tramo 2 que se presenta menos alterado y al tramo 4 que se mantuvo estable dentro de las calidades más bajas (Tabla 6). El curso del arroyo en los tramos 1, 3 y 4 pasó de tener un estado de calidad hidrogeomorfológica deficiente a un estado de calidad muy mala disminuyendo entre 23 y 4 puntos. Por otro lado, en el tramo 2 los indicadores de la calidad demostraron un estado desmejorado bajando 12 puntos de calidad buena a moderada.

Al observar las variaciones en las puntuaciones (Tabla 8) junto con las estructuras de los gráficos piramidales el valor total del índice desciende en los cuatro tramos durante el período estudiado. La resta de puntos en el bloque de CR pone en evidencia los impactos negativos de la introducción de vegetación y el tendido de canales y acequias que actúan en detrimento de la continuidad, anchura, estructura, naturalidad y conectividad del corredor ribereño. Como se mencionó anteriormente, a principios del siglo XX la práctica

de actividades hortícolas implicó la reforestación con especies exóticas que fueron colonizando el territorio. Más recientemente el uso recreativo y residencial implicó la introducción de especies arbóreas exóticas para la conformación de cortinas rompe-viento.

Tabla 8. Síntesis de variaciones en las puntuaciones totales entre 2016 y 2021

Parámetros		Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4
A	Naturalidad del régimen de caudal	-4	-1	0	0
B	Disponibilidad y movilidad de sedimentos	-3	-1	3	0
C	Funcionalidad de la llanura de inundación	2	-1	-2	2
CF	CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA	-7	-3	-2	2
D	Naturalidad del trazado y morfología en planta	2	-2	-1	1
E	Continuidad y naturalidad del lecho, de los procesos longitudinales y verticales	-3	-1	-2	3
F	Naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral	-1	8	-6	0
CC	CALIDAD DEL CAUCE	-4	-3	-9	4
G	Continuidad longitudinal	-2	-2	-5	-2
H	Anchura del corredor ribereño	-5	-2	-3	-2
I	Estructura, naturalidad y conectividad transversal	-1	-2	-4	0
CR	CALIDAD DE RIBERAS	-8	-6	-12	-4
IHG	Total	-19	-12	-23	-4

Elaboración propia

La reducción de la CC y CF se debe a intervenciones antrópicas que forzaron la modificación del cauce en su forma y movilidad natural. Como se puede observar en la Figura 6, se mantuvieron canalizaciones, puentes y en algunos casos hasta se incrementaron las obras de regulación de caudal y de defensa. Por último, el acortamiento de las barras superiores que se da en todas las pirámides se justifica en la existencia de tomas de agua en el primer sector funcional, cuyos efectos sobre el volumen natural del caudal se propagan aguas abajo y se acentúa en el verano dejando al cauce semiseco.

4. Discusión de resultados

El IHG proporciona una visión completa y sintética del estado del río y de las presiones e impactos, así como de los elementos sobre los que actuar para mejorarlo. Si bien su aplicación se destaca en el país de origen, España, la utilidad que brinda para la identificación y valoración de los impactos en el espacio fluvial hizo extensiva su implementación hacia el resto de los países iberoamericanos (Ollero et al., 2021). Es interesante señalar que en estos casos a diferencia de lo que ocurre en Europa no existe una normativa equiparable con la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE que requiera la evaluación de la calidad de los cursos de agua. No obstante, en esta región el interés por conocer los procesos fluviales que interactúan con la intervención humana ha encontrado en el índice IHG una herramienta capaz de relevar y valorar los impactos hidromorfológicos que deterioran el estado hidrogeomorfológico de los cursos fluviales. Una ventaja fundamental es que considera, en un único índice, indicadores de respuesta hidrogeomorfológica (como por ejemplo los cambios en la topografía del cauce, los procesos de sedimentación, los cambios en la naturalidad de las márgenes, entre otros) con indicadores que dan muestra de las presiones que recibe el sistema. Para abordar este último aspecto, se realizaron para los años 2016 y 2021 inventarios de presiones antrópicas, impactos y alteraciones presentes en cada tramo. De dicha evaluación se identificaron como zonas con mayor impacto antrópico la zona ribereña y su respectivo ecosistema. La elaboración del inventario resulta un aporte imprescindible al momento de evaluar los resultados del IHG. De esta manera, la aplicación del IHG en los tramos periurbanos del arroyo Napostá Grande permitió identificar efectos hidrogeomorfológicos locales ante las actuaciones directas sobre el cauce y las riberas derivadas del avance de la urbanización. La pérdida de naturalidad en el régimen de caudal, así como la incisión y encajonamiento del cauce, son alteraciones hidromorfológicas que otorgan al tramo estudiado características propias de lo que en la literatura se define

como síndrome de cursos y cuencas urbanizadas (Vietz et al., 2016; Carrero Diez et al., 2019; Rhoads, 2020). No obstante, es fundamental y a la vez un reto continuar y profundizar este tipo de estudio para verificar las causas de los cambios y poder resolver en qué medida son naturales o antrópicas, y determinar a su vez el peso de los efectos que provienen del cambio global y/o de impactos locales. Dado que si los cambios son naturales no pueden considerarse negativos, pero si son antropogénicos implican alteraciones que sí deben ser evaluadas como negativas (Ollero et al., 2021).

La gestión de un sistema fluvial debe estar orientada a la protección del recurso, de los ecosistemas asociados a los cauces y a la disminución de los daños provocados por las inundaciones y crecidas. El desconocimiento de los procesos fluviales lleva a plantear medidas que en muchas ocasiones generan problemas aún mayores o bien los mismos procesos que vuelven a manifestarse en el corto tiempo (Horacio, 2014). Asociado a esto, una medida de gestión que usualmente se utiliza es el mantenimiento y conservación de cauces para optimizar la capacidad de desagüe de los tramos vegetados mediante el aumento de su sección de desagüe. Estas intervenciones implican, por ejemplo, limpieza de la vegetación acuática o extracción de restos de madera muerta —para reducir la rugosidad de los cauces—, dragados, excavación del cauce o elevación de las márgenes a través de diques longitudinales. Este tipo de actuaciones presenta habitualmente numerosos problemas de carácter hidrogeomorfológico y ambiental, ya que afectan a los mecanismos que mantienen el equilibrio fluvial y desencadenan procesos de gran inestabilidad y difíciles de predecir (Cabrero Rodríguez & Magdaleno Mas, 2015). Es importante señalar que algunas de estas intervenciones han sido implementadas en los tramos analizados del arroyo Napostá Grande, principalmente el dragado y las defensas, cuyas consecuencias ya pueden advertirse a través de la disminución de la calidad hidrogeomorfológica detectada.

Por otra parte, es importante considerar que, si bien el caudal del arroyo Napostá Grande es hidrológicamente permanente, existen épocas del año con estiajes muy marcados, lo cual contribuye a intensificar las presiones que sufren y limitan la capacidad de absorber los impactos de las actuaciones antrópicas. Esta situación se asemeja a lo que ocurre con los cursos efímeros que aun cuando comparten presiones e impactos con los cursos permanentes y temporales registran diferencias con respecto a la intensidad con la que estos se manifiestan (Vidal-Abarca et al., 2020)

La consideración de todos los factores que impactan en un sistema fluvial es importante porque, como expresan Subelza et al. (2019), los valores finales del IHG en algunas situaciones pueden resultar altos, representando una calidad hidrogeomorfológica buena o muy buena, y sin embargo en el caso particular de las riberas su calidad puede ser moderada, ya que es el sector funcional con más modificaciones, llegando a ser necesaria en algunos casos una restauración para asegurar su funcionalidad hidrológica y ecológica. Es precisamente lo que ocurre en el trabajo realizado dado que, si bien algunos parámetros alcanzan una calidad buena y moderada, a nivel general las valoraciones han disminuido principalmente en ítems asociados a las riberas y al cauce. Asimismo, los valores son aún menores a medida que el arroyo se acerca hacia los sectores funcionales más urbanizados. Esto último también lo identifica Díaz Presas (2022) en el alto valle del río Negro (Argentina) donde los tramos que presentan una valoración menor se encuentran en áreas de expansión urbana o en aquellas destinadas a nuevos cultivos.

Otro aspecto importante para destacar es que el índice siempre valora de forma positiva la llegada de sedimentos al tramo, como así también la presencia de vegetación en las riberas. Sin embargo, los autores del índice reconocen que es importante determinar la procedencia de esos sedimentos, dado que pueden derivarse de prácticas antrópicas en la cuenca media o alta y en ese caso debiera tener una valoración negativa (Ollero et al., 2021).

Del mismo modo, hay que plantearse si la madera o sedimento leñoso en el cauce procede de ejemplares alóctonos, en cuyo caso hay que valorarla de forma negativa. En este sentido, es frecuente que en los corredores fluviales de las zonas urbanas se encuentren especies de plantas exóticas que reflejan las diversas fuentes de las cuales pueden proceder como, por ejemplo: patios y jardines, parques públicos, terrenos abandonados, etc. además de la capacidad de los ríos para recolectar, dispersar y depositar semillas durante las crecidas (Cockel et al., 2014). Precisamente en los tramos estudiados se han encontrado especies exóticas principalmente herbáceas (*Hedera helix*) y arbóreas-arbustivas (*Tamarix gallica*, *Populus alba*, *Eucalyptus citriodora*). De acuerdo con Íñiguez-Ayón (2020), en la actualidad las zonas ribereñas se ven afectadas significativamente en su diversidad tanto a nivel de abundancia como en la composición vertical, viéndose simplificados y atenuados los diferentes estratos. Uno de los elementos que impacta negativamente a los ecosistemas son las especies exóticas. Esta introducción en los sistemas fluviales conlleva cambios

en los suelos, la geomorfología y la cantidad y calidad del agua, así como en el suministro de otros servicios ambientales. Es por ello que, en caso de que se elabore una versión urbana del IHG, se sugiere en el bloque calidad de riberas, en la valoración del parámetro Naturalidad de la vegetación ribereña, la incorporación al grado de alteraciones (leves o significativas) el origen de las especies relevadas, es decir, nativas o exóticas.

5. Conclusiones

El presente estudio aporta una nueva forma de representación de los resultados de la aplicación del índice IHG, como la cartografía y, en especial, las gráficas piramidales, que podrán ser utilizadas en próximos trabajos.

El Índice Hidrogeomorfológico (IHG) fue creado para valorar sistemas fluviales considerando la dinámica hidrogeomorfológica, aspecto que no siempre es tenido en cuenta al analizar dichos sistemas. A partir de este índice se revaloriza el papel de la geomorfología fluvial como herramienta para el análisis y diagnóstico ambiental de un sistema fluvial. En el caso de los tramos estudiados, la caracterización del cauce, los procesos de erosión, transporte y sedimentación y el análisis de los impactos producidos por la actividad antrópica permiten reconocer que la dinámica hidrogeomorfológica ha sido alterada. Asimismo, la aplicación del IHG a diferentes escalas temporales permitió reconocer el efecto del incremento del área urbanizada en los cambios de la calidad hidrogeomorfológica, los cuales han sido notorios principalmente en la calidad de las riberas.

Durante el período estudiado (2016-2021) la calidad hidrogeomorfológica disminuyó principalmente en los bloques relativos a las riberas y al cauce. Dentro de las valoraciones, la calidad moderada fue la máxima categoría alcanzada. A su vez, se identificó que las puntuaciones de los distintos parámetros descienden a medida que el arroyo se acerca hacia los sectores funcionales más urbanizados. En términos de salud fluvial, las valoraciones del índice y la identificación de procesos como la simplificación del cauce expresan síntomas de deterioro que podrían demandar la implementación de medidas de restauración fluvial, incluyendo la conservación y protección desde el ámbito local de los puntos más naturales. También sería de interés desarrollar un seguimiento en los próximos años, comprobando con nuevas evaluaciones la evolución y si prosigue o no el deterioro del espacio fluvial estudiado.

Financiación

El presente trabajo se realizó en el marco del proyecto “Geografía Física Aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas ambientales a diferentes escalas témporoespaciales”. Dirección: Verónica Gil. Co – Dirección: Alicia M. Campo. Código: 24/G092. Secretaría General de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional del Sur.

Agradecimientos

Las autoras agradecen al Dr. Alfredo Ollero la orientación y asistencia brindada en la aplicación del IHG.

Referencias

- Aguas Bonaerenses S.A. (2017). *Taller de problemática regional del agua*. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Bahía Blanca. <https://www.frbb.utn.edu.ar/prodeca-proimca/archivos/absa-taller-problematica-regional-agua.pdf>
- Aliaga, V. S., Ferrelli, F., & Piccolo, M. C. (2017). Regionalization of climate over the Argentine Pampas. *International Journal of Climatology*, 37, 1237-1247. <https://doi.org/10.1002/joc.5079>
- Barboza, E., Salas, R., Mendoza, M., Oliva, M., & Corroto, F. (2018). Uso actual del suelo y calidad hidrogeomorfológica del río San Antonio: alternativas para la restauración fluvial en el Norte de Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(2), 203-214. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.364>
- Cabrero Rodríguez, A., & Magdaleno Mas, F. (2015). Buenas prácticas para el mantenimiento y conservación de cauces. *Revista Digital Del Cedex*, (177), 51. <http://193.145.71.12/index.php/ingenieria-civil/article/view/517>
- Carrasco, S., Hauenstein, E., Peña-Cortés, F., Bertrán, C., Tapia, J. & Vargas-Chacoff, L. (2014). Evaluación de la calidad de vegetación ribereña en dos cuencas costeras del sur de Chile mediante la aplicación del índice QBR, como base para su planificación y gestión territorial. *Gayana. Botánica*, 71(1), 1-9. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432014000100002>
- Carrero Díez, L., Atiénzar Pertusa, I., Martínez Santa-María, C., Magdaleno Mas, F., Merino de Miguel, M., & Fernández Yuste, J. A. (2019). Síndrome de la cuenca urbanizada vs dinámica morfológica fluvial: un caso práctico. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (45), 135-144. <https://doi.org/10.31167/csecfv0i45.19506>
- Cerana, J.L., & Varela, H. (2013). *Propuesta de revalorización del arroyo Napostá a partir de su integración a la dinámica urbana de la ciudad de Bahía Blanca*. Informe del Proyecto CAPWEM: Desarrollo de Capacidades en Ingeniería del Agua y Gestión Ambiental. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Bahía Blanca.
- Cockel, C. P., Gurnell, A. M., & Gurnell, J. (2014). Consequences of the physical management of an invasive alien plant for riparian plant species richness and diversity. *River Research and Applications*, 30(2), 217-229. <https://doi.org/10.1002/rra.2633>
- Conesa García, C., Pérez Cutillas, P., García Lorenzo, R., & Martínez Salvador, A. (2012). Cambios históricos recientes de cauces y llanuras aluviales inducidos por la acción del hombre. *Nimbus*, 29-30, 159-176. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4375581>
- Díaz Presas, S. (2022). *Caracterización geomorfológica y aplicación del índice hidrogeomorfológico (IHG) en el alto valle del río Negro* [Final degree thesis, Universidad Nacional de Río Negro]. Repositorio Institucional Digital. <http://rid.unrn.edu.ar/handle/20.500.12049/8832>
- Dirección Provincial de Estadística (2016). *Proyecciones de población por Municipio provincia de Buenos Aires 2010-2025*. Informe del Departamento de Estudios Sociales y Demográficos. La Plata: Subsecretaría de Coordinación Económica, Ministerio de Economía.
- Fernández, S., Reguera, F., López, N., & Schefer, J. (2017). Revisión y análisis de estudios realizados en la Cuenca del Arroyo Napostá Grande. In *Actas VI Congreso Bianual PROIMCA y IV Congreso Bianual PRODECA*. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Bahía Blanca.
- Ferrelli, F. (2016). *Análisis del clima local y micro local de la ciudad de Bahía Blanca* [Doctoral thesis, Universidad Nacional del Sur]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad Nacional del Sur (RID-UNS). <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2698>
- González, F., Fernández, E., & Blanco, M. (1988). Micromodelos geomorfológicos en la cuenca inferior del Napostá Grande, Provincia de Buenos Aires, Argentina. In *Actas de las Segundas Jornadas Geológicas Bonaerenses* (pp. 213-224). Bahía Blanca.
- González, M. (2018). *Hidrogeomorfología de la cuenca del arroyo Saladillo de García aplicada al ordenamiento del periurbano de Bahía Blanca* [Final degree thesis, Universidad Nacional del Sur]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad Nacional del Sur (RID-UNS). <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5773>

- Goudie, A. S. (2006). Global warming and fluvial geomorphology. *Geomorphology*, 79 (3-4), 384-394. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.023>
- Gutiérrez, M. R. V. A., & Alonso, M. L. S. (2000). Aplicación del índice de calidad del bosque de ribera, QBR (Munné et al., 1998) a los cauces fluviales de la cuenca del río Segura. *Tecnología del agua*, (201), 33-45.
- Horacio, J. (2014). *Geomorfología fluvial en sistemas atlánticos: metodología de caracterización, clasificación y restauración para los ríos de Galicia* [Doctoral thesis, Universidad de Santiago de Compostela]. Minerva. Repositorio Institucional Da USC. <http://hdl.handle.net/10347/13820>
- Horacio, J., Ollero, A., Ballarín, D., & Ibisate, A. (2018). Herramientas para el diagnóstico del ecosistema fluvial. In J. Díez & A. Ibisate, A. (Eds.), *Retos y experiencias de restauración fluvial en el ámbito de la red Natura 2000* (pp. 22-44). Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- Íñiguez-Ayón, Y. P. (2020). La vegetación ribereña y su importancia para las ciudades. Estudio de caso: río Humaya, Culiacán, Sinaloa. *Boletín Científico Sapiens Research*, 10(2), 91-100. <https://www.srg.com.co/bcsr/index.php/bcsr/article/view/405/294>
- Leopold, L. B., Wolman, G. M., & Miller, J.P. (2020). *Fluvial Processes in Geomorphology* (2nd ed.). Dover Publications.
- López, N., Reguera, F., & Rango, B. (2021). Analysis of the Suspended solids transport in a stream located in the southwest of the Buenos Aires province, Argentina. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 21(4), 604-612. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.02.003>
- Lorda, M. A. (2008). Lógicas socioespaciales en el espacio periurbano de Bahía Blanca. *Huellas*, 12, 90-112.
- Miller, J. D., Kim, H., Kjeldsen, T. R., Packman, J., Grebby, S. & Dearden, R. (2014). Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. *Journal of Hydrology*, 515, 59-70. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.011>
- Magdaleno, F., Martínez, R., Roch, V. (2010). Índice RFV para la valoración del estado del bosque de ribera. *Ingeniería Civil*, (157), 85-96.
- Montico, A. (2020). *Evaluación del servicio ecosistémico de regulación hídrica en un sector del periurbano norte de Bahía Blanca*. (Unpublished final degree thesis). Universidad Nacional. Bahía Blanca, Argentina.
- Munné, A., Solá, C., & Prat, N. (1998). QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del agua*, 175, 20-37.
- Neuling, J. G. (2012). Estimación de la calidad de hábitat en un tramo del río Toqui, XI región de Aysén, empleando el Índice de Hábitat Fluvial (IHF). *Caderno de Pesquisa*, 24(1), 117-128. <https://doi.org/10.17058/cp.v24i1.4402>
- Ollero, A., Ballarín, D., García, J.H., Ibisate, A., Mora, D., & Sánchez Fabre, M. (2021) Diagnóstico fluvial, impactos en cauces y cambio global: aplicaciones del índice hidrogeomorfológico IHG. *Geographicalia*, (73), 295-3160. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2021735191
- Ollero, A., Ballarín, D., & Mora, D. (2009). *Aplicación del índice hidrogeomorfológico IHG en la cuenca del Ebro. Guía metodológica*. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza, España.
- Ortiz, J. A., & Vieyra, A. (2018). Periurbanización y sus efectos en el ambiente y la calidad de vida: análisis en dos localidades socioeconómicamente contrastantes de Morelia, Michoacán. In A. Vieyra, Y. Méndez, & J. Hernández (Coords.), *Procesos periurbanos: desequilibrios territoriales, desigualdades sociales, ambientales y pobreza* (pp. 61-88). UNAM-CIGA.
- Palma, A., Figueroa, R., & Ruiz, V. H. (2009). Evaluación de ribera y hábitat fluvial a través de los índices QBR e IHF. *Gayana (Concepción)*, 73(1), 57-63. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382009000100009>
- Paoloni, D. (2010). *Ambientes y recursos naturales del partido de Bahía Blanca: clima, geomorfología, suelos y aguas*. EdiUNS.
- Pardo, I., Álvarez, M., Casas, J., Moreno, J.L Vivas, S., Bonada, N., Alba Tercedor, J., Jaimez Cuellar, P., Moyá, G., Prats, N., Robles, S., Suarez, M., Toro, M., & Vidal Abarca, M. (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica*, 21(3-4), 115-133. <https://doi.org/10.23818/limn.21.21>

- Pedraza Gilsanz, J. (1996). *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Editorial Rueda.
- Pirchi, V. (2019). Análisis hidrogeomorfológico en el periurbano norte de la ciudad de Bahía Blanca. [Final degree thesis, Universidad Nacional del Sur]. Repositorio Digital Institucional de la Universidad Nacional del Sur (RID-UNS). <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5563>
- Raven, P.J., Holmes, N.T.H., Dawson, F.H., Fox, P.J.A., Everard, M., Fozzard, I.R., & Rouen, K.J. (1998). *River Habitat Survey: the physical character of rivers and streams in the UK and Isle of Man*. https://www.researchgate.net/publication/270276283_River_Habitat_Quality_The_physical_character_of_rivers_and_stream_in_the_UK_and_Isle_of_Man_River_Habitat_Survey_Report_No_2
- Rhoads, B. (2020). *River Dynamics: Geomorphology to Support Management*. Cambridge University Press.
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., & Bussettini, M. (2010). Manuale tecnico-operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua. <https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/manuale-rev2011-16.pdf>
- Rodríguez-Téllez, E., Domínguez-Calleros, P. A., Pompa-García, M., Quiroz-Arratia, J. A., & Pérez López, M. E. (2012). Calidad del bosque de ribera del río El Tunal, Durango, México; mediante la aplicación del índice QBR. *Gayana Botánica*, 69(1), 147-151. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432012000100014>
- Simon, D. (2008). Urban environments: issues on the peri-urban fringe. *Annual review of environment and resources*, 33(1), 167-185. <https://doi.org/10.1146/annurev.environ.33.021407.093240>
- Solas-Francés, E. (2017). *Análisis del estado ecológico de ríos de la cuenca del alto Guadalquivir, a través del estudio de parámetros de hábitat fluvial, vegetación de ribera y macroinvertebrados* [Master thesis, Universidad de Jaén]. Crea. Colección de Recursos Educativos Abiertos de la Universidad de Jaén. <https://hdl.handle.net/10953.1/5926>
- Stevaux, J. C., & Latrubesse, E. M. (2017). *Geomorfología Fluvial*. Oficina de Textos.
- Subelza C., Ferreira Padilla S. y Quintero D. (2019). Índice de Calidad de Riberas (IQR) e Índice Hidrogeomorfológico (IHG) para un tramo del río Alisal (Cafayate, Salta-Argentina). *Revista de la Asociación Argentina de Ecología de Paisaje*, 9(1), 157-160. <https://www.asadep.com.ar//indice-de-calidad-de-riberas-iqr-e-indice-hidrogeomorfologico-ihg-para-un-tramo-del-rio-alisal-cafayate-salta-argentina/>
- Torres-Lima, P., & Cruz-Castillo, J. G. (2019). Procesos urbanos y sistemas socioecológicos. Trayectorias sustentables de la agricultura de chinampa en Ciudad de México. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (25), 168-190. <https://doi.org/doi.org/10.17141/letrasverdes.25.2019.3368>
- Vidal-Abarca, M. R., Gómez, R., Sánchez-Montoya, M. M., Arce, M. I., Nicolás, N., & Suárez, M. L. (2020). Defining dry rivers as the most extreme type of non-perennial fluvial ecosystems. *Sustainability*, 12(17), 7202. <https://doi.org/10.3390/su12177202>
- Vietz, G., Walsh, C., & Fletcher, T. (2016). Urban hydrogeomorphology and the urban stream syndrome: treating the symptoms and causes of geomorphic change. *Progress in Physical Geography*, 40(3), 480-492. <https://doi.org/10.1177/0309133315605048>
- Volonté, A. & Gil, V. (2021). El índice hidrogeomorfológico como herramienta para la gestión del territorio fluvial: Cuenca del arroyo San Bernardo, Argentina. *Finisterra*, 56(117), 199-214. <https://doi.org/10.18055/Finis20798>