

EL ÍNDICE HIDROGEOMORFOLÓGICO COMO HERRAMIENTA PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO FLUVIAL. CUENCA DEL ARROYO SAN BERNARDO, ARGENTINA

ANTONELA VOLONTÉ¹ 

VERÓNICA GIL² 

RESUMEN – El Índice Hidrogeomorfológico (IHG) es una herramienta para la valoración de indicadores hidromorfológicos que tiene por fin último determinar el estado ecológico de los sistemas fluviales, el cual es importante conservar para proteger el ecosistema fluvial. El índice utiliza nueve parámetros ordenados en tres grupos: 1) calidad funcional del sistema, 2) calidad del cauce, y 3) calidad de las riberas. El objetivo de este trabajo es conocer y valorar la calidad hidrogeomorfológica del arroyo San Bernardo (Sistema de Ventania, Argentina) utilizando la metodología del IHG. Su aplicación en la cuenca dio como resultado una valoración hidrogeomorfológica “muy buena” en el tramo de la cuenca media-alta y “buena” en el tramo de la cuenca baja, más antropizado. Esto permite esbozar como primera conclusión la importancia de realizar intervenciones en el espacio fluvial que no interfieran con la naturalidad del territorio fluvial, aspecto clave para la gestión de la cuenca.

Palabras clave: Sistema fluvial; dinámica hidrogeomorfológica; Índice Hidrogeomorfológico; gestión de cuencas.

RESUMO – ÍNDICE HIDROGEOMORFOLÓGICO COMO FERRAMENTA PARA A GESTÃO DO TERRITÓRIO FLUVIAL. BACIA DE CÓRREGO SAN BERNARDO, ARGENTINA. O Índice Hidrogeomorfológico (IHG) é uma ferramenta de avaliação de indicadores hidromorfológicos cujo objetivo final é determinar o estado ecológico dos sistemas fluviais, sendo importante para a sua conservação e proteção. O índice recorre a nove parâmetros dispostos em três grupos: 1) qualidade funcional do sistema, 2) qualidade do

Recibido: 26/04/2020. Aceite: 22/01/2021. Publicado: 01/08/2021.

¹ Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (CONICET), 12 de octubre 1098, 4° piso, Bahía Blanca, Argentina. E-mail: antonela.volonte@uns.edu.ar

² Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur (CONICET), Bahía Blanca, Argentina. E-mail: veronica.gil@uns.edu.ar

leito do rio, e 3) qualidade das margens. O objetivo deste trabalho é conhecer e avaliar a qualidade hidrogeomorfológica do córrego San Bernardo (Sistema de Ventania, Argentina) utilizando a metodologia IHG. A sua aplicação na bacia resultou numa avaliação hidrogeomorfológica “muito boa” no troço médio-alto da bacia e “boa” no seu troço inferior, onde se faz sentir maior ação humana. Isto permite delinear como primeira conclusão a importância da realização de intervenções na área do rio que não interfiram na naturalidade do território fluvial, aspeto fundamental para a gestão da bacia.

Palavras-chave: Sistema fluvial; dinâmica hidrogeomorfológica; Índice Hidrogeomorfológico; gestão de bacias hidrográficas.

ABSTRACT – HYDROGEOMORPHOLOGICAL INDEX AS A TOOL FOR THE MANAGEMENT OF THE RIVER TERRITORY. STREAM BASIN OF THE SAN BERNARDO, ARGENTINA. The Hydrogeomorphological Index (IHG) is a tool for the assessment of hydromorphological indicators whose ultimate purpose is to determine the ecological status of river systems, important to conserve in order to protect the river ecosystem. The index uses nine parameters arranged in three groups: 1) functional quality of the system, 2) quality of the channel, and 3) riparian quality. The aim of this paper is to know and assess the hydrogeomorphological quality of the San Bernardo stream (Ventania System, Argentina) using the IHG methodology. Its application in the basin resulted in a “very good” hydrogeomorphological evaluation in the middle-upper section of the basin and “good” in the lower section of the basin, which is more anthropized. This allows us to outline as a first conclusion the importance of carrying out interventions in the river space that do not interfere with the naturalness of the river territory, a key aspect for the management of the basin.

Keywords: Fluvial system; hydrogeomorphological dynamics; Hydrogeomorphological Index; basin management.

RÉSUMÉ – L'INDICE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE COMME OUTIL POUR LE GÉSTION DU TERRITOIRE FLUVIAL. BASSIN DU RUISSEAU DE LA RIVIÈRE SAN BERNARDO, ARGENTINE. L'Indice Hydrogéomorphologique (IHG) est un outil d'évaluation d'indicateurs hydromorphologiques dont le but dernier est de déterminer l'état écologique des systèmes fluviaux, lequel est important de conserver pour protéger l'écosystème fluvial. L'indice utilise neuf paramètres répartis en trois groupes: 1) qualité fonctionnelle du système, 2) qualité du chenal, et 3) qualité des berges. L'objectif de ce travail est de connaître et évaluer la qualité hydrogéomorphologique de la rivière San Bernardo (*Sistema de ventania*, Argentine) en utilisant la méthodologie IHG. Son application dans le bassin versant a permis une “très bonne” évaluation hydrogéomorphologique dans la section moyenne-supérieure du bassin et “bonne” dans la section inférieure du bassin, plus anthropisé. Ceci permet de conclure, en premier sur l'importance de réaliser des interventions dans l'espace fluvial qui n'interfèrent pas avec la naturalité du territoire fluvial, un aspect clé pour la gestion du bassin versant.

Mot clés: Système fluvial; dynamique hydrogéomorphologique; Indice hydrogéomorphologique; Gestion des bassins versants.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los espacios fluviales son objeto de análisis por su valor ecológico, paisajístico y territorial, constituyendo un elemento clave en la dinámica ambiental y en la planificación territorial. Presentan recursos valiosos para los distintos sistemas de gestión tales como, las políticas de manejo del agua, la conservación de espacios naturales, el patrimonio cultural o el ordenamiento del uso de suelo (Ollero Ojeda *et al.*, 2007).

Las actividades antrópicas modifican el funcionamiento natural de estos sistemas y el desconocimiento de su dinámica, tanto en los cauces como en las riberas, ha generado graves consecuencias ambientales en diferentes espacios fluviales. Las cuencas hidrográficas reciben múltiples presiones e impactos que, de manera directa o indirecta y a veces diferidos en el tiempo, alteran su funcionamiento hidrogeomorfológico (Baena Escudero *et al.*, 2016; Morán Sáez, 2019; Ollero Ojeda *et al.*, 2008).

La valoración de sectores funcionales en un sistema fluvial puede abordarse desde diferentes enfoques y uno de ellos es desde la gestión del territorio fluvial con diferentes fines como la conservación de los corredores ribereños, la gestión sostenible del agua o la zonificación en función del grado de riesgo. Esta valoración, a través de distintos indicadores, permite mitigar los problemas ambientales de los sistemas fluviales, así como también mejorar y conservar su funcionalidad y naturalidad (Ballarín *et al.*, 2006; Contreras *et al.*, 2020; Velázquez & Celemin, 2011).

En las últimas décadas, a partir del surgimiento de planes de ordenamiento en cuencas, programas de conservación y restauración, así como normativas diversas que afectan a cauces y riberas han dado lugar en Europa a la creación de numerosos índices hidrogeomorfológicos (Caron, 2005; Moseley, 1999; Munné *et al.*, 1998; Ollero Ojeda *et al.*, 2008; Pardo *et al.*, 2002; Raven *et al.*, 1998; Rinaldi *et al.*, 2013). La importancia de utilizar indicadores hidrogeomorfológicos está dada en que los mismos cuantifican los procesos permitiendo conocer el funcionamiento de los cauces fluviales como ecosistemas. Por ello, es relevante determinar el estado ecológico de los ríos como base para la gestión del espacio fluvial (Ollero Ojeda *et al.*, 2007).

La dinámica de una cuenca es el reflejo combinado de la geomorfología fluvial, la variabilidad climática y los procesos antropogénicos (Gil, 2010). En la subcuenca del arroyo San Bernardo (Argentina) se generan crecidas provocadas por eventos hidrometeorológicos extremos. Estos son torrenciales y de corta duración (*flash flood*), ocasionan aislamiento temporario e inundación de sectores urbanos aledaños y pérdidas económicas principalmente en la localidad que se asienta en la cuenca baja (Volonté, 2017).

El objetivo de este trabajo es aplicar Índice Hidrogeomorfológico (IHG) en dos tramos del arroyo San Bernardo para conocer y valorar la calidad hidrogeomorfológica del territorio fluvial. Esta subcuenca, al igual que otras que nacen en el Sistema de Ventania, no posee planes de gestión y por ello es importante el aporte al conocimiento de las características hidrogeomorfológicas como insumo básico y elemental para la elaboración de futuros planes de gestión del espacio fluvial.

II. ÁREA DE ESTUDIO

La subcuenca del arroyo San Bernardo (ScSB) nace en el Sistema de Ventania (provincia de Buenos Aires, Argentina). Este cordón serrano, con alturas máximas entre 900 y 1250m sobre el nivel del mar (s.n.m.), es la principal divisoria de agua del sur de la llanura pampeana. Nacen aquí las principales redes de drenaje de la región y entre ellas la del río Sauce Grande. En su cuenca alta posee 21 subcuencas que drenan al cauce principal. Una de ellas es la del arroyo San Bernardo que nace en el cerro Tres Picos (1230m s.n.m.) y confluye en cercanías de la localidad turística de Sierra de la Ventana (fig. 1) drenando las laderas orientales del cordón serrano. En esta subcuenca, eventos hidrometeorológicos extremos generan crecidas intensas que afectan a la población situada en sus márgenes.

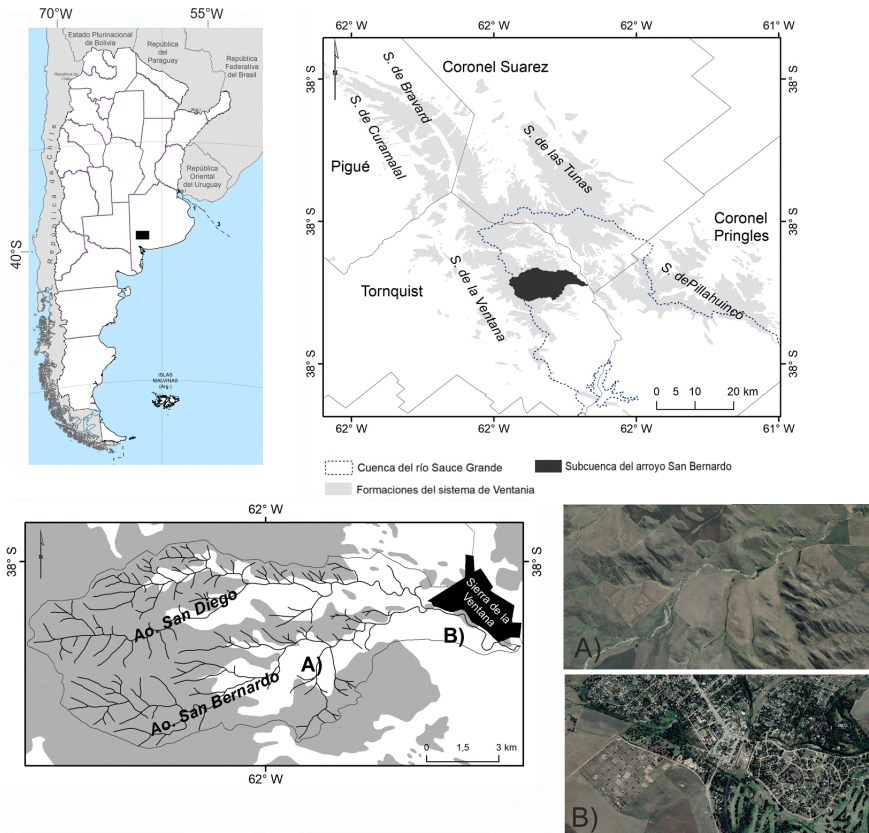


Fig. 1 – Localización del área de estudio y de los tramos A) cuenca media-alta y B) cuenca baja en los cuales se aplica el Índice Hidrogeomorfológico. Figura en color disponible en línea.

Fig. 1 – Location of the study area and the sections A) medium-high and B) low, where was applied the Hydrogeomorphological Index. Colour figure available online.

Fuente: cartografía elaborada sobre la base de *shapes* del Instituto Geografico Nacional (IGN) e imágenes de *Google Earth*

El área tiene un clima templado con una marcada variabilidad témporo-espacial de las precipitaciones (Campo de Ferreras *et al.*, 2004; Casado & Campo, 2019; Casado & Picone, 2018; Gentili & Gil, 2013). Esta variabilidad se refuerza con la influencia de fenómenos meteorológicos a escala global los cuales contribuyen a las fluctuaciones periódicas en el monto de las lluvias (Brendel *et al.*, 2017; Deschamps *et al.*, 2003; Ferrelí & Aliaga, 2015; Zapperi *et al.*, 2006, 2007).

La ScSB (82km²) presenta dos zonas geológicas importantes: 1) el área de afloramientos rocosos pertenecientes al Grupo Ventana compuesto por una serie de cuarcitas con un espesor aproximado de 1250-1400m y al Grupo Pillahuincó compuesto por una sucesión de diamictitas, conglomerados, pelitas y areniscas (Andreis *et al.*, 1989) donde las estructuras predominantes son los pliegues y las fracturas que controlan el trazado de la red de drenaje (Sellés Martínez, 2001; Suero, 1972); 2) las zonas de acumulaciones eólicas-aluviales (Gil, 2010) incididas por la actual red de drenaje y donde en la actualidad se desarrollan suelos productivos y están mayormente utilizadas para las actividades agrícola-ganaderas.

Biogeográficamente, la ScSB se encuentra en la provincia Pampeana, distrito pampeano austral (Cabrera, 1976). La vegetación predominante es la estepa de gramíneas, formada por grandes matas del género *Stipa*. Hay varias comunidades que pueden considerarse climácicas como, por ejemplo, la Estepa de Flechilla y la Estepa de *Stipa ambigua*. En la zona de la cuenca baja prevalecen especies arbóreas introducidas como *Populus spp.* y *Salix spp.* (Volonté *et al.*, 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar la calidad hidrogeomorfológica se utilizó el Índice Hidrogeomorfológico (IHG) propuesto por Ollero Ojeda *et al.* (2008). Este índice es una herramienta que se utiliza para determinar el estado ecológico de los sistemas fluviales (Barboza Castillo *et al.*, 2017; Barboza Castillo & Ramírez Torres, 2015; Ollero Ojeda *et al.*, 2008, 2019, Rojas Briceño *et al.*, 2020).

El IHG evalúa nueve parámetros ordenados en tres grupos. La calidad funcional del sistema fluvial (a) se obtiene a partir de la suma de las valoraciones de tres parámetros: la naturalidad del régimen de caudal, la disponibilidad y movilidad de sedimentos y la funcionalidad de la llanura de inundación. La calidad del cauce (b) se obtiene a partir de la suma de las valoraciones de tres parámetros: la naturalidad del trazado y de la morfología en planta, la continuidad y naturalidad del lecho y de los procesos longitudinales y verticales y la naturalidad de las márgenes y de la movilidad lateral. La calidad de las riberas (c) se define en función de: la continuidad, anchura, estructura, naturalidad y conectividad del corredor ribereño.

Cada parámetro se puntúa de 0 a 10 asignándole un valor inicial de 10 puntos (que corresponde a su estado y funcionalidad natural), luego se evalúan los impactos y presiones restando puntos a ese valor inicial. Los puntos que se restan en cada categoría están

pautados en la metodología del IHG. La valoración final puede hacerse de manera parcial, de acuerdo con cada grupo (a-b-c) o de manera integral, considerando el total de los parámetros analizados (tabla I).

Tabla I – Puntaje para la valoración hidrogeomorfológica.
Table I – Score for the final hydrogeomorphological assessment.

Calidad hidrogeomorfológica	Puntaje final por grupo (a-b-c)	Puntaje total
Muy buena	30-25	75-90
Buena	24-20	60-74
Moderada	19-14	42-59
Deficiente	13-7	21-41
Muy mala	6-0	0-20

Fuente: Ollero Ojeda *et al.* (2007)

Previo a la aplicación del IHG es necesario dividir el sistema fluvial en tramos, de manera que el índice se obtendrá para cada uno de ellos. La escala de trabajo recomendada son tramos que no superen el kilómetro de longitud, aunque es factible aplicarlo a sectores más extensos (Ollero Ojeda *et al.*, 2007). En este caso, se seleccionaron dos tramos del curso principal del arroyo San Bernardo (fig. 1) ambos presentan características internamente homogéneas, pero se diferencian en aspectos hidrogeomorfológicos. En el caso del primer tramo que tiene 1,2km (que supera la escala propuesta) se consideró abarcar la totalidad del meandro. Este se encuentra en la cuenca media, donde el arroyo mantiene su territorio fluvial con una intervención antrópica baja representada principalmente por el uso del pastizal natural para el pastoreo del ganado vacuno. El segundo tramo (1km) se localiza en la cuenca baja, en esta parte el curso principal recibe el caudal de su principal afluente y la intervención antrópica es alta, debido a que allí se asienta localidad de Sierra de la Ventana. Esta forma parte de la comarca serrana, cuenta con 2165 habitantes de acuerdo con el último censo (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INDEC], 2010) y tiene como principal actividad económica el turismo.

La aplicación de la metodología se dividió en dos etapas. Por un lado, el trabajo en gabinete para detectar cambios y procesos evolutivos. Se utilizó documentación previa (Gil, 2010; Gil *et al.*, 2019; Volonté, 2017; Volonté *et al.*, 2015, 2018; Volonté & Gil, 2019), datos hidrológicos, cartografía (carta topográfica del área 1:50 000), fotografías aéreas (1:20 000) e imágenes satelitales del *Google Earth* (1:1200). Por otro lado, el monitoreo de los tramos estudiados es continuo desde 2015 y para la obtención de parámetros específicos a este trabajo se llevaron a cabo diferentes tareas de campo entre los años 2018 y 2019 en período de estiaje (mayo 2018, julio 2019) y en días posteriores a eventos de inundación (febrero 2018, marzo 2019, septiembre 2019). Estas salidas al terreno permitieron observar los cambios no visibles en la documentación cartográfica, comprobar lo identificado en las fotografías aéreas e imágenes satelitales de *Google Earth* y realizar recorridos longitudinales por cada sector funcional para relevar los datos indicados en la metodología adoptada: mediciones de pendiente, sección *bankfull*, granulometría de los

sedimentos, erosión, entre otros. También se realizaron observaciones de detalle de los indicadores de crecidas, vegetación, intervenciones antrópicas en el tramo de la cuenca baja y la identificación de puntos para futuros muestreos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la aplicación del IHG para los dos tramos del cauce principal de la cuenca del arroyo San Bernardo se presentan en la tabla II. Cada parámetro se evaluó siguiendo la metodología explicada previamente y los resultados para cada uno se presentan a continuación.

Tabla II – Valoración Hidrogeomorfológica para dos tramos de la ScSB.

Table II – Hydrogeomorphological Assessment for two sections of the ScSB.

CALIDAD FUNCIONAL DEL SISTEMA				
	Naturalidad del régimen de caudal	Disponibilidad y movilidad de sedimentos	Funcionalidad de la llanura de inundación	Sub total
Tramo 1	10	10	10	30
Tramo 2	(-4) 6	(-1) 9	(-1) 9	24
CALIDAD DEL CAUCE				
	Naturalidad del trazado y de la morfología en planta	Disponibilidad y movilidad de sedimentos	Funcionalidad de la llanura de inundación	Sub total
Tramo 1	10	10	10	30
Tramo 2	(-2) 8	(-3) 7	(-1) 9	24
CALIDAD DE LAS RIBERAS				
	Continuidad Longitudinal	Ancho del corredor ribereño	Estructura, naturalidad y conectividad transversal	Sub total
Tramo 1	(-2) 8	(-2) 8	(-3) 7	23
Tramo 2	(-3) 7	(-2) 8	(-3) 7	22

El primer tramo se encuentra en la cuenca media, tiene una longitud de 1200m, una altitud promedio de 300m s.n.m. y en la zona circundante al arroyo se realiza principalmente actividad ganadera extensiva. La llanura de inundación presenta una extensión promedio de 100m, destacándose una morfología irregular y terrazas en una de sus márgenes, compuestas por cantos rodados y bloques. El fondo del canal es homogéneo presenta sedimentos tamaño grava y bloques aislados. La vegetación es predominantemente herbácea con especies representativas del pastizal pampeano y se hallan algunos ejemplares arbóreos caídos con las raíces expuestas. A partir de mediciones *in situ* el valor de caudal no supera los 0,33m³/s en épocas de estiaje.

La calidad funcional del sistema (a) presenta los tres parámetros con puntaje máximo. Con respecto a la naturalidad del régimen del caudal, tanto la cantidad circulante por el tramo como su distribución natural y los procesos extremos responden a la dinámica natural cumpliendo el sistema con la función de transporte hidrológico. No se observan intervenciones de origen antrópico que impidan u obstaculicen esta función. El caudal

sólido llega al sector sin ningún tipo de retención de aguas arriba pudiendo ejercer la función de movilización y transporte. En el terreno se observó que la granulometría y morfometría son acordes con las características de la cuenca y del tramo fluvial (fig. 2).



Fig. 2 – Características del primer tramo de la cuenca media de la ScSB, a) actividad ganadera extensiva, b) y c) vegetación herbácea predominante de la cuenca media y terrazas sobre una de las márgenes del curso principal, d) material sedimentario en el canal. Figura en color disponible en línea.

Fig. 2 – Characteristics of the first section of the ScSB Middle Basin, a) ganadera activity, b) and c) predominant herbaceous vegetation of the Middle Basin and terraces on one of the margins of the main course, d) sedimentary material in the canal. Colour figure available online.

Fuente: Volonté (2019)

La llanura de inundación ejerce su función sin restricciones antrópicas lo que permite la disipación de la energía durante los eventos de crecidas. Si bien sobre esta, se realiza ganadería extensiva no representa una reducción en su funcionalidad como así tampoco incrementa la peligrosidad del sistema fluvial aguas abajo. Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, el puntaje obtenido para esta sección es 30 puntos. Esto indica una valoración de calidad funcional del sistema fluvial “muy buena”.

La calidad del cauce (b) se evalúa desde una perspectiva tridimensional: longitudinal, transversal y vertical. El trazado fluvial y la morfología en planta presenta los caracteres y dimensiones esperables a las características de la cuenca y del valle, así como el funcionamiento general del sistema. Como se explicó en la descripción del área de estudio, una de las características de esta subcuenca es el importante gradiente de pendiente en el sector de sierras, lo cual genera que en la cuenca alta el canal sea rectilíneo ($S=1,03$). Esto

responde a un control estructural donde predominan los cambios bruscos de dirección. En este sector de la cuenca media la sinuosidad es 1,11 lo cual indica que el canal posee características de anastomosado (*braided*). Volonté (2017) lo atribuye principalmente al cambio de pendiente y sustrato que se observa entre la cuenca alta y media. En el caso de los procesos hidrogeomorfológicos longitudinales y verticales son funcionales y afines con las características del valle y de la cuenca, del sustrato y de la pendiente. El cauce es natural y tiene capacidad de movilizarse lateralmente sin intervenciones antrópicas lo cual favorece la formación de márgenes. Este bloque al igual que el anterior también presenta el máximo puntaje (30 puntos) dando como resultado una calidad del cauce “muy buena”.

El último bloque de parámetros a evaluar corresponde a la calidad de las riberas (c). La continuidad del corredor ribereño a lo largo del fondo de valle fluvial es una característica clave de su naturalidad y funcionalidad hidrogeomorfológica, ecológica y paisajística. En el tramo analizado esta continuidad se ve afectada por el uso de suelo destinado al pastoreo ganadero. Siguiendo las categorías propuestas en la metodología de evaluación se le resta dos puntos porque si bien esas discontinuidades suponen menos del 15% del ancho total, es una discontinuidad permanente. El ancho de una ribera es un parámetro fundamental, ya que un corredor ribereño extenso garantiza todas las funciones hidrogeomorfológicas y ejerce de forma efectiva como ecotono y eje de interconexiones entre el cauce, la llanura de inundación, el freático y el valle. Por lo anteriormente expuesto, al puntaje final se le restan dos puntos teniendo en cuenta que se mantiene el 80% del ancho potencial.

Con respecto a la estructura y naturalidad en este tramo, la vegetación que predomina son las especies herbáceas, propias del pastizal pampeano y no se observan especies alóctonas o invasoras. La conectividad si se ve afectada, la presencia del pastoreo genera una presión sobre las riberas disminuyendo la calidad, motivo por el cual se le restan tres puntos ya que la actividad ganadera se extiende en más del 50% de la superficie de la ribera actual. Este bloque de calidad de las riberas fue la que obtuvo el menor puntaje (23 puntos) dando como valoración final una calidad buena.

Sintetizando, el puntaje final del tramo 1 es 83 puntos. Esto indica que en líneas generales tiene una calidad hidrogeomorfológica muy buena, debido principalmente a la escasa intervención antrópica.

El segundo tramo se encuentra en la cuenca baja en una zona urbanizada. La longitud es de 1000m y la altitud promedio es 260m s.n.m. Sobre la margen izquierda se encuentra el barrio San Bernardo y el balneario homónimo pertenecientes a la localidad de Sierra de la Ventana. Se trata de una zona residencial con una fuerte transformación del paisaje debido al desarrollo de actividades residenciales y turístico – recreativas. Sobre la margen derecha se encuentra un parque ecológico con fines turísticos.

La vegetación en el tramo es predominantemente arbórea, de edad madura, que superan los 15m de altura junto con especies típicas del pastizal pampeano como *Stipa longiglumis*, *Panicum bergii* y *Cortaderia selloana*. La vegetación en este sitio cumple una doble función: 1) protege los márgenes del cauce de la acción erosiva y 2) se torna un obstáculo para la circulación de caudales ordinarios y extraordinarios. En el caso de inundaciones estos diques modifican tanto la magnitud como la velocidad de las ondas de crecida (fig. 3; Volonté *et al.*, 2013). En la estación de estiaje los caudales varían según el sector, en el arroyo

San Diego metros arriba de su confluencia con el San Bernardo el valor obtenido es $0,29\text{m}^3/\text{s}$ y aguas abajo en cercanía al balneario San Bernardo el caudal es $0,37\text{m}^3/\text{s}$. Casado *et al.* (2017) estimaron el caudal de la cuenca ante una precipitación efectiva de 25mm utilizando un Modelo Digital de Elevación de 90m y obtuvieron como resultado un caudal de $194\text{m}^3/\text{s}$.



Fig. 3 – Intervenciones antropogénicas en la cuenca baja, a) dique transversal al curso principal, b) y c) elementos antrópicos (escombros) y restos de vegetación, d) uso de suelo para residencia. Figura en color disponible en línea.

Fig. 3 – Anthropogenic interventions in the lower basin, a) transverse dam, b) and c) anthropic elements and vegetation remains, d) residential land use. Colour figure available online.

Fuente: Volonté (2017 y 2019)

La calidad funcional del sistema (a) se considera “buena”. Con respecto a la naturalidad del régimen del caudal, este se ve alterado debido a la presencia de un dique (23m de ancho y 70cm de alto) que actúa como embalse de agua con fines recreativos y una desviación realizada por los habitantes del barrio para canalizar el agua durante las crecidas. Los diques longitudinales constituyen elementos negativos para la calidad hidrogeomorfológica del río, por cuanto dificultan la funcionalidad natural de desborde. Estas intervenciones generan una variación en el caudal circulante, pero se mantienen bien caracterizado el régimen estacional del caudal, restándole cuatro puntos al valor inicial. La disponibilidad y movilidad de sedimentos se ve afectada por la presencia del dique y el crecimiento de especies arbóreas y arbustiva sobre las márgenes del canal. Estas alteraciones son leves, restándose un punto al valor inicial. La funcionalidad de la llanura de inundación también se ve afectada debido a la presencia de edifica-

ciones y al mismo proceso de urbanización que se viene desarrollando en el sector. Esto reducen la funcionalidad natural de manera puntual, restándole un punto al valor ideal.

La calidad del cauce (b) tiene como valoración final una calidad “buena” y esto se debe principalmente a que en el trazado del canal existen desvíos de agua realizados para canalizarla en las crecidas. Esto genera la modificación de los procesos de erosión y sedimentación (longitudinal, lateral y verticalmente) buscando nuevas condiciones de equilibrio en el tramo y por ende aguas abajo del mismo. Debido a estos cambios en la morfología en planta se le restan dos puntos al valor inicial.

La continuidad y naturalidad del lecho, así como los procesos longitudinales y verticales se ven afectados también por la presencia del dique. La existencia de esta infraestructura transversal embalsa más del 50% de la longitud del sector por lo tanto se le restan tres puntos al valor de referencia. El último parámetro de este bloque es la naturalidad de las márgenes y de la movilidad natural, la cual se ve afectada por la presencia de elementos antrópicos en las márgenes (escombros, vías de comunicación, cartelería) lo cual restan un punto al valor de referencia (fig. 4).



Fig. 4 – Intervenciones en la naturalidad de las márgenes en la ScSB (segundo tramo): a) presencia de escombros, b) el inicio de los loteos sobre parte de la llanura inundable, c) la instalación de cartelería, y d) la proximidad de las vías de comunicación. Figura en color disponible en línea.

Fig. 4 – Interventions in the naturalness of the margins in the ScSB (second section): a) the presence of debris, b) the beginning of the subdivisions over part of the floodplain, c) the installation of signage, and d) the proximity of the communication routes. Colour figure available online.

La calidad de las riberas (c) es un parámetro importante debido al papel hidrogeomorfológico de la vegetación de ribera en el filtrado de los procesos fluviales, disminuyendo la velocidad de la corriente, favoreciendo la sedimentación diferencial, reforzando y estabilizando las orillas. En el tramo analizado la calidad es “buena”. La continuidad longitudinal se ve interrumpida por un uso de suelo urbano, estas discontinuidades son permanentes y afectan entre el 15% y el 25% de la longitud total de la ribera. Esta condición le resta tres puntos al valor inicial. El ancho del corredor ribereño se ve reducido por la presencia de la urbanización y actualmente se halla entre el 60% y el 80% de la anchura potencial (menos dos). Con respecto al último parámetro, la antropización de las riberas ha favorecido al aumento de especies alóctonas, ornamentales en algunos casos, alterando la composición florística propia de esta área. Además, en este tramo se observó la extracción/recolección de madera muerta y uso de suelo recreativo. Todas estas actividades alteran la estructura en más de un 50%, restándole tres puntos al valor inicial. El puntaje total de este bloque es 22 puntos.

En síntesis, en el primer tramo la calidad hidrogeomorfológica es “muy buena” (83 puntos). De los tres parámetros los primeros dos (naturalidad del régimen del caudal y la disponibilidad y movilidad de sedimentos) tienen una calidad “muy buena” mientras que el último (funcionalidad de la llanura de inundación) es “buena”. Esto se atribuye a que la actividad ganadera genera un impacto leve en la funcionalidad de la llanura de inundación. En el segundo tramo, la calidad hidrogeomorfológica es “buena”. Los tres parámetros tienen una valoración final “buena” debido principalmente a las intervenciones antrópicas en el canal principal y en el área de riberas, este último el parámetro con menor puntaje.

La aplicación del IHG en esta subcuenca del Sistema de Ventania tiene resultados diferentes a lo que ha sido su aplicación en cuencas europeas. Ejemplo de esto, son los resultados del río Huerve o el río Belagua (España) donde el resultado final es una calidad moderada a deficiente (Ollero Ojeda *et al.*, 2008). Esto se explica principalmente por tres motivos: 1) las transformaciones debidas a los usos urbanos o rurales en las riberas tienen porcentajes más altos, 2) la modificación debido a dragados, defensas, embalses es mayor, y 3) el tiempo histórico de ocupación es más prolongado. En el caso de cuencas latinas, Barboza Castillo y Ramírez Torres (2015) aplicaron este índice comparando tramos en la cuenca alta, media y baja del río Utcubamba. Encontraron diferencias entre ellas y determinaron que la calidad funcional del sistema fluvial descendió desde la cuenca alta a la baja. Rojas Briceño *et al.* (2020) implementaron el IHG en microcuencas del norte de Perú, obteniendo como resultado un deterioro mayor en las cuencas bajas. La principal causa que identificaron se relaciona con la presión de las actividades ganaderas y agrícolas y los incendios que alteran la estructura del suelo. Este patrón de mayor deterioro de la calidad hidrogeomorfológica en las cuencas bajas se verifica en la ScSB. Cabe destacar aquí que el grado de antropización de la cuenca del San Bernardo es mucho menor que en las cuencas europeas y latinas mencionadas anteriormente. El IHG disminuye su valor y por lo tanto la calidad hidrogeomorfológica, con el descenso de la pendiente y el aumento de la antropización. Se confirma así que la calidad hidrogeomorfológica es

inversamente proporcional a las intervenciones realizadas sin planificación. Es aquí donde gestión del territorio fluvial se torna necesaria e importante, así como la generación de un plan de gestión de cuencas.

V. CONCLUSIONES

El IHG resultó ser una herramienta adecuada para valorar la calidad hidrogeomorfológica de la ScSB. Si bien requirió de un conocimiento exhaustivo del sistema fluvial, la aplicación en cuencas pequeñas es factible. Por otra parte, uno de los aspectos positivos es que se reconocieron los impactos antrópicos sobre el sistema fluvial, del cauce y las riberas. En este caso se observa un mayor valor del índice en los tramos superiores correspondiente a usos del suelo no intensivos.

Se desprenden del análisis algunas propuestas para mejorar la calidad de uso. En el caso de la ScSB es necesario regular la ocupación de la línea de ribera en la cuenca baja, naturalizando este espacio como así también el cauce, incrementando el territorio fluvial. Deberían retirarse de las orillas los obstáculos que dificultan la movilidad lateral y actúan reteniendo el agua y los sedimentos. La dinámica hidrogeomorfológica debe ser un valor que proteger a sí mismo y un aspecto clave en la valoración del estado ecológico.

Por otra parte, se considera importante difundir e implementar en otras subcuencas esta metodología para seguir evaluando los sistemas fluviales y sobre la base de estos resultados comenzar a pensar en la Gestión Integral de las cuencas tanto en el Sistema de Ventania como en otras cuencas de similares características. La valoración hidrogeomorfológica realizada es un insumo científico-técnico importante para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. La información que se genera con la aplicación del IHG permitirá ordenar el territorio fluvial y hacer un uso sostenible del mismo identificando las potencialidades y limitaciones del sistema fluvial de acuerdo con criterios hidrogeomorfológicos.

ORCID ID

Antonela Volonté  <https://orcid.org/0000-0003-3523-5881>

Verónica Gil  <https://orcid.org/0000-0002-2824-204X>

CONTRIBUCIONES DE LOS/LAS AUTORES/AS

Antonela Volonté: Conceptualización; Metodología; Análisis formal; Investigación; Escritura – original preparación del borrador; Redacción – revisión y edición. **Verónica Gil:** Conceptualización; Análisis formal; Investigación; Escritura – original preparación del borrador; Redacción – revisión y edición; Administración del proyecto.

REFERENCIAS

- Andreis, R., Iñiguez, A., Lluch, J., & Rodríguez, S. (1989). Cuenca paleozoica de Ventania, Sierras Australes, provincia de Buenos Aires. [Paleozoic basin of Ventania, Sierras Australes, province of Buenos Aires]. In G. Chebli & L. Spalletti (Eds.), *Cuencas Sedimentarias Argentinas* [Argentine Sedimentary Basins] (pp. 265-298). Instituto Superior de Correlación Geológica.
- Baena Escudero, R., Guerrero, I., García Martínez, B., & Posada, C. (2016). Anthropogenic occupation and risks of flood in the plains of the Guadalquivir river (Palm sector of river-Sevilla, Spain). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (72), 149-167. <https://doi.org/10.21138/bage.2335>
- Ballarín, D., Mora, D., Díaz Bea, E., Echeverría, M. T., Ibsate, A., Montorio, R., ... Sánchez Fabre, M. (2006). Criterios para la valoración hidrogeomorfológica de los cursos fluviales de Aragón [Hydrogeomorphological assessment of the fluvial courses of Aragón]. *Geographica*, (49), 51-69.
- Barboza Castillo, E., Corroto, F., Salas, R., Gamarra, O., Ballarín, D., & Ollero Ojeda, A. (2017). Hidrogeomorfología en áreas tropicales: aplicación del Índice Hidrogeomorfológico (IHG) en el río Utcubamba (Perú) [Hydrogeomorphology in tropical areas: application of the Hydrogeomorphological Index (IHG) in the Utcubamba River (Peru)]. *Ecología Aplicada*, 16(1), 39-47. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v16i1.902>
- Barboza Castillo, E., & Ramírez Torres, A. (2015). *Evaluación de la calidad hidrogeomorfológica de la cuenca del río Utcubamba, Departamento de Amazonas – Perú* [Evaluation of the hydrogeomorphological quality of the Utcubamba river basin, Departamento de Amazonas – Perú]. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio Digital UNTRM. <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/658>
- Brendel, A. S., Bohn, V. Y., & Piccolo, M. C. (2017). Variabilidad de la precipitación y su relación con los rendimientos agrícolas en una región semiárida de la llanura pampeana (Argentina) [Rainfall variability and its relationship with the agricultural yields in a semiarid region of the Pampean plain (Argentina)]. *Estudios Geográficos*, 78(282), 7-29. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201701>
- Cabrera, A. (1976). *Fitogeografía de la República Argentina* [Phytogeography of the Argentine Republic]. Sociedad Argentina Botánica.
- Campo de Ferreras, A., Capelli de Steffens, A., & Diez, P. (2004). *El clima del Suroeste bonaerense* [The climate of the southwest of Buenos Aires]. Ediuins.
- Caron, E. (2005). *Mise en oeuvre du seq physique sur le bassin artois-picardie* [Implementation of physical SEQ on the Artois-Picardie basin]. [Tesis de Doctorado, Université François Rabelais]. Consultation EAU. [https://consultation.eau-artois-picardie.fr/OAI_Docs/aegis/888/B_16980_\(2.54Mo\).pdf](https://consultation.eau-artois-picardie.fr/OAI_Docs/aegis/888/B_16980_(2.54Mo).pdf)
- Casado, A., & Campo, A. M. (2019). Extremos hidroclimáticos y recursos hídricos: estado de conocimiento en el suroeste bonaerense, Argentina [Hydroclimatic extremes and water resources: current state of knowledge in southwestern Buenos Aires, Argentina]. *Cuadernos Geográficos*, 58(1), 6-26. <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i1.6751>
- Casado, A., & Picone, N. (2018). Aplicabilidad de los datos grillados para el análisis espaciotemporal de las precipitaciones, provincia de Buenos Aires (Argentina) [Applicability of gridded climate datasets to spatiotemporal rainfall assessment, Buenos Aires province (Argentina)]. *Párrafos Geográficos*, 17(1), 46-62.
- Casado, A., Gil, V., Volonté, A., & Campo, A. M. (2017). Modelos Digitales de Elevación (MDE) e hidromorfometría para el modelado de crecidas en pequeñas cuencas torrenciales no aforadas, arroyo San Bernardo, Argentina [Digital Elevation Models (DEM) and hydromorphometry for the modeling of floods in small an torrential basins, San Bernardo creek, Argentina]. In E. Carbone, A. Gerdali, W. Melo, & F. Barragan (Eds.), *Las Geotecnologías en los Procesos Ambientales* [Geotechnologies in Environmental Processes] (pp. 123-136). Ediuins.
- Contreras, F. I., Ferrelli, F., & Piccolo, M. C. (2020). Impactos de eventos secos y lluviosos sobre cuerpos de agua perurbanos subtropicales: aporte al ordenamiento del espacio urbano de Corrientes (Argentina) [The impact of dry and wet events on subtropical peri-urban shallow lakes: a contribution to urban planning of Cor-

- rientes city (Argentina)]. *Finisterra – Revista Portuguesa de Geografía*, LV(114), 3-22. <https://doi.org/10.18055/Finis19436>
- Deschamps, J. R., Otero, O., & Tonni, E. P. (2003). *Cambio climático en la pampa bonaerense: las precipitaciones desde los siglos XVIII al XX. Documento de Trabajo N° 109* [Climatic change in the bonarian pampas. The precipitations in the XVIII to XX centuries. Working Paper N°109]. Universidad de Belgrano.
- Ferrelli, F., & Aliaga, V. (2015). *Variabilidad de las precipitaciones y sus efectos sobre la respuesta espacio-temporal de cuerpos de agua en la región pampeana, Argentina* [Rainfall variability and its impacts on the temporal and spatial dynamic of water bodies in the pampas region, Argentina]. [Tesis de especialización, Universidad Nacional de Luján]. Universidad Nacional de Luján. <https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/711>
- Gentili, J., & Gil, V. (2013). Variabilidad temporal de las precipitaciones en vertientes opuestas del Sistema de Ventania, Buenos Aires, Argentina [Temporal rainfall variability in opposite slopes in the Ventania System, Buenos Aires, Argentina]. *Revista Universitaria de Geografía*, 22(2), 147-166.
- Gil, V. (2010). *Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas* [Hydrogeomorphology of the high basin of the Sauce Grande river applied to flash flood danger]. [Tesis de posgrado, Universidad Nacional del Sur]. Repositorio Digital UNS. http://repositorio-digital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/2069/1/TESIS_GIL.pdf
- Gil, V., Volonté, A., & Campo, A. M. (2019). Índices morfométricos a diferentes escalas aplicados al peligro de crecidas en cuencas pequeñas. Cuenca del arroyo San Bernardo, Argentina [Morphometric indices at different scales applied to the danger of flooding in small basins. basin of the stream San Bernardo, Argentina]. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 20(4) 811-824.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). *Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda* [National Census of Population, Households and Housing]. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Argentina. <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>
- Morán Sáez, J. (2019). *El paisaje y las modificaciones antrópicas en las cuencas altas amazónicas de la región andina-ecuatorial* [The landscape and anthropic modifications in the upper Amazon basins of the Andean-equatorial region]. [Tesis de posgrado, Universidad Complutense de Madrid]. E-Prints Complutense. <https://eprints.ucm.es/57581/>
- Moseley, R. K. (1999). *Riparian inventory and proper functioning condition assessment of the Rocking M Wildlife Conservation Easement Area*. Idaho Department of Fish and Game.
- Munné, A., Solà, C., & Prat, N. (1998). QBR: un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera [QBR: a rapid index for assessing the quality of riparian ecosystems]. *Tecnología del agua*, (175), 20-37.
- Ollero Ojeda, A., Ballarín Ferrer, D., Díaz Bea, E., Mora Mur, D., Sánchez Fabre, M., Acín Naverac, V., ... Sánchez Gil, N. (2007). Un índice hidrogeomorfológico (IHG) para la evaluación del estado ecológico de sistemas fluviales [A hydrogeomorphological index (IHG) for the evaluation of the ecological status of river systems]. *Geographica*, (52), 113-141. <https://doi.org/10.26754/ojs-geoph/geoph.2007521109>
- Ollero Ojeda, A., Ballarín, D., Díaz Bea, E., Mora, D., Sánchez Fabre, M., Acín, V., ... Sánchez Gil, N. (2008). IHG: un índice para la valoración hidrogeomorfológica de sistemas fluviales [IHG: An index for the hydro-geomorphological assessment of fluvial systems]. *Limnetica*, 27(1), 171-188.
- Ollero Ojeda, A., Ibisate, A., Ballarín, D., Horacio, J., Mora, D., & Saenz, A. (2019). Aplicación de índices para la valoración de la hidrogeomorfología fluvial en cuencas Guipuzcoanas [Application of indices for the valuation of river hydrogeomorphology in Guipuzcoan basins]. In M. C. Adrián Rodríguez, M. A. Álvarez-Vázquez, & E. de Uña-Álvarez (Eds.), *Perspectivas del agua. Investigación, gestión y valores del agua en el mundo actual* [Perspectives of the water. Research, management and water values in today's world] (pp. 111-116). Dykinson.
- Pardo, I., Álvarez, M., Casas, J., Moreno, J. L., Vivas, S., Bonada, N., ... Vidal-Abarca, M. R. (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat [The habitat of the Mediterranean rivers. Design of an index of habitat diversity]. *Limnetica*, 21(3-4), 115-133.

- Raven, P. J., Boon, P. J., Dawson, F. H., & Ferguson, A. J. D. (1998). Towards an integrated approach to classifying and evaluating rivers in UK. *Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems*, 8(4), 383-393. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0755\(199807/08\)8:4%3C383::AID-AQC303%3E3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0755(199807/08)8:4%3C383::AID-AQC303%3E3.0.CO;2-L)
- Rinaldi, M., Surian, N., Comiti, F., & Bussetini, M. (2013). A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: the Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology*, 180-181, 96-108. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.09.009>
- Rojas Briceño, N. B., Barboza Castillo, E., Gamarra Torres, O. A., Oliva, M., Leiva Tafur, D., Barrena Gurbillón, & M. Á., Rascón, J. (2020). Morphometric Prioritization, Fluvial Classification, and Hydrogeomorphological Quality in High Andean Livestock Micro-Watersheds in Northern Peru. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(5), 305. <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi9050305>
- Sellés Martínez, J. (2001). Geología de la Ventania. Provincia de Buenos Aires, Argentina [The geology of Ventania. Buenos Aires Province, Argentina]. *Journal of Iberian Geology*, (27), 43-69.
- Suero, A. (1972). Geological compilation of Sierras Australes (Buenos Aires Province, Argentina). *Anales LEMIT*, II(3), 137-145.
- Velázquez, G. A., & Celemin, J. P. (2011). Aplicación de un índice de calidad ambiental a la región pampeana argentina (2010) [The application of an environmental quality index to the Pampas region in the Republic of Argentina (2010)]. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia*, XLVI(91), 47-64. <https://doi.org/10.18055/Finis1324>
- Volonté, A. (2017). Geomorfología fluvial aplicada al peligro de crecidas. Cuenca del arroyo San Bernardo, Sistema de Ventania, Argentina [Fluvial geomorphology applied to the risk of floods. San Bernardo Stream Basin, Ventania System, Argentina]. [Tesis de posgrado, Universidad Nacional del Sur]. CONICET Digital. http://200.49.237.216/bitstream/123456789/3453/1/TESIS%20DOC-TORAL_VOLONTE.pdf
- Volonté, A., & Gil, V. (2019). Aportes de la hidrogeomorfología histórica en la determinación de áreas inundables a partir de eventos extremos de crecidas [Contributions of historical hydrogeomorphology to determine floodable areas from extreme flood events]. *Revista Huellas*, 23(1), 11-26.
- Volonté, A., Campo, A. M., & Gil, V. (2015). Estado ecológico de la cuenca baja del arroyo San Bernardo, Sierra de la Ventana, Argentina [Ecological conditions of the San Bernardo stream's low basin, Sierra de la Ventana, Argentina]. *Revista Geográfica de América Central*, 54(1), 136-151. <https://doi.org/10.15359/rgac.1-54.6>
- Volonté, A., Duval, V., Gil, V., & Campo, A. (2013). Vegetación ribereña en la cuenca baja del arroyo San Bernardo, Sierra de la Ventana [Riparian vegetation in the low basin of the river San Bernardo, Sierra de la Ventana]. *Boletín de GÆA*, (132), 297-305.
- Volonté, A., Gil, V., & Campo, A. (2018). Estudio de la vegetación y sus efectos en la dinámica fluvial en cuencas serranas, Argentina [Study of the vegetation and its effects on the fluvial dynamics in mountain basins, Argentina]. *Revista Geográfica Venezolana*, 59(1), 366-380.
- Zapperi, P., Casado, A., Gil, V., & Campo, A. (2006). Caracterización de las precipitaciones invernales en el Suroeste bonaerense [Characterization of winter rainfall in the Southwest of Buenos Aires]. In M. Cernadas de Bulnes & J. Marcilese (Eds.), *Actas de las IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense* [Proceedings of the IV Interdisciplinary Conference of the Southwest Buenos Aires]. Universidad Nacional del Sur.
- Zapperi, P., Ramos, M., Gil, V., & Campo, A. (2007). Caracterización de las precipitaciones estivales en el Suroeste bonaerense [Analysis of the summer precipitations in the southwest of the province of Buenos Aires]. *Contribuciones Científicas*, I(2), 483-491.