


Diagnóstico y monitoreo de ambientes fluviales a partir de geoindicadores. Cuenca del Oro (Argentina)

Diagnostic and monitoring of fluvial environments from geoindicators. Del Oro basin (Argentina)

ANTONELA VOLONTÉ¹  0000-0003-3523-5881

VERÓNICA GIL²  0000-0002-2824-204X

¹ Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo - Comisión de Investigaciones Científicas (CIC - BA)

² Universidad Nacional del Sur, Departamento de Geografía y Turismo - CONICET

Resumen

El sistema fluvial puede ser caracterizado a partir de la aplicación de indicadores geomorfológicos. Estos permiten comprender la dinámica del sistema como así también realizar un diagnóstico de estado para una buena gestión. El objetivo de este trabajo fue aplicar un grupo de geoindicadores para diagnosticar y monitorear el estado ambiental de la cuenca del Oro (38° 4' 56,9"S 61° 56' 24,17"O), Argentina. Los geoindicadores se agruparon según el objetivo de aplicación (diagnóstico y monitoreo) y la escala temporal (a largo, mediano y corto plazo). Se realizó el trabajo de campo durante el periodo 2019 – 2021, el cual fue el principal insumo de información. La aplicación de geoindicadores a mediano y largo plazo permitió caracterizar ambientalmente la cuenca y reconocer las características más importantes en cuanto a su dinámica fluvial, destacándose la variabilidad de las precipitaciones, las cuales cuando ocurren de manera extrema, debido a las características morfométricas de la cuenca, favorece la ocurrencia de eventos de crecidas de los arroyos. A corto plazo permitieron identificar aquellos indicadores a monitorear para asegurar una calidad hidrogeomorfológica óptima principalmente en las áreas ribereñas, las que resultaron con el mayor grado de transformación.

Palabras clave: Geoindicadores; cuencas fluviales; arroyo; Argentina.

Fechas • Dates

Recibido: 2022.07.11
Aceptado: 2023.01.09
Publicado: 2023.02.01

Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Verónica Gil
verogil@uns.ed

Abstract

The fluvial system can be characterized from the application of geomorphological indicators. These allow understanding the dynamics of the system as well as carrying out a status diagnosis for good management. The aim of this work was to apply a group of geoindicators to diagnose and monitor the environmental status of the Oro basin (38° 4' 56.9"S 61° 56' 24.17"W), Argentina. The geoindicators were grouped according to the application objective (diagnosis and monitoring) and the time scale (long, medium and short term). The field work was carried out during the period 2019 - 2021, which was the main input of information. The application of geoindicators in the medium and long term allowed the environmental characterization of the basin and recognition of the most important characteristics in terms of its fluvial dynamics, highlighting the variability of rainfall, which when it occurs in an extreme way, due to the morphometric characteristics of the basin, favors the occurrence of stream flooding events. In the short term, they allowed the identification of those indicators to be monitored to ensure optimal hydrogeomorphological quality, mainly in the riparian areas, which resulted in the highest degree of transformation.

Keywords: Geoindicators; river basins; stream; Argentina.

1. Introducción

Los geoindicadores son herramientas que proporcionan información sintética (cuantitativa o cualitativa) sobre una realidad compleja permitiendo el seguimiento y evaluación de un sistema ambiental. Estos son elaborados o adaptados de acuerdo con el objetivo del estudio para el que se apliquen y resumen aspectos del estado del ambiente en función de la relación entre las actividades antrópicas y los recursos naturales (Berger, 1996; Botini Tavares et al., 2007). En general, se los han utilizado en diferentes ramas de la ciencia como la Geología, la Geomorfología, la Biología, la Geofísica y la Geografía para ayudar a determinar impactos ambientales, monitorear ecosistemas de forma continua y analizar cambios en el uso del suelo, entre otros (Botini Tavares et al., 2007; Barbosa Pereira Dinotte et al., 2020; Quitanilha de Castro et al., 2021).

Según Gómez da Silva (2020), para los sistemas fluviales, su utilización permite a) caracterizar y comparar diferentes cuencas hídricas o tramos fluviales dentro de estas y b) conocer el funcionamiento y predecir cambios de estado a futuro, siendo los resultados obtenidos insumos para un diagnóstico del estado fluvial y la elaboración de posteriores planes de gestión. Dinotte et al. (2020) explican que su implementación posibilita reunir información sobre cambios pasados y presentes a partir de metodologías simples. Por ello, utilizar este método de evaluación y control de las modificaciones espaciales también posibilita distinguir entre las variaciones naturales y las inducidas por la acción humana. Su uso arroja información a corto y mediano plazo sobre las tendencias en la recuperación de los ríos y riberas que han perdido su calidad, alentando procesos de restauración fluvial, buscando reestablecer la estructura y función de los ecosistemas (Flores Díaz, Argueta y Ugalde, 2017).

Por otra parte, dentro de la comunidad científica y desde diferentes disciplinas (biología, geología, hidrología, geografía, etc.) han sido considerados como un método para el reconocimiento de probables cambios en los ambientes fluviales a diferentes escalas temporales y la identificación de cambios originados por acciones antrópicas en ambientes urbanizados como, por ejemplo, la eliminación de la vegetación, el sellado de suelos y los cambios en el ciclo de drenaje (Coltrinari, 2001; Alberto, 2012; Da Silva, 2020; Dinotte et al., 2020). Para su aplicación en sistemas fluviales, los geoindicadores deben ser seleccionados desde el amplio número de variables geomorfológi-

cas debido a la complejidad de elementos e interacciones que presentan dichos sistemas. Ollero Ojeda et al. (2011) proponen tener en cuenta: variables de control, procesos, formas, atributos e índices. Entre estas variables recomiendan seleccionar el menor número posible de indicadores geomorfológicos ya que la eficiencia en el trabajo fluvial exige que éstos sean pocos, pero eficaces, es decir, que aporten mucha información.

Los geoindicadores han sido mayormente aplicados, en cuencas sudamericanas y en los últimos años, para monitorear áreas forestales (Da Silva, Ribeiro & Longo, 2020); para evaluar efectos de la urbanización y su expansión sobre formas y procesos geomorfológicos (Ferreira y Pinton, 2021) y evaluar efectos ambientales de la explotación de oro aluvial (Gaviria y Angel-Amayab, 2019). Una conclusión común de estos trabajos es su utilidad para la generación de proyectos prospectivos y aplicados a la restauración y el ordenamiento físico-territorial de las cuencas.

En Europa, Ollero Ojeda et al. (2021) elaboraron el Índice Hidrogeomorfológico (IHG) compuesto por diferentes geoindicadores para diagnosticar y evaluar la calidad fluvial con el objetivo de mejorar su calidad ecológica. Su aplicación resulta útil para la identificación y valoración de los impactos en el espacio fluvial y, por tanto, para definir propuestas de restauración y evaluar la eficacia de las mismas mediante una aplicación progresiva identificando en qué aspectos va mejorando el río analizado. Tuset et al. (2015) relacionaron la reducción de la magnitud y frecuencia de las crecidas con la reducción del área activa del cauce a través de geoindicadores naturales. También vincularon la desaparición de unidades morfo-sedimentarias dinámicas y la pérdida de disponibilidad de carga de fondo extraída o capturada antrópicamente, es por ello que el análisis sedimentario también resulta un geoindicador de interés para conocer la dinámica fluvial.

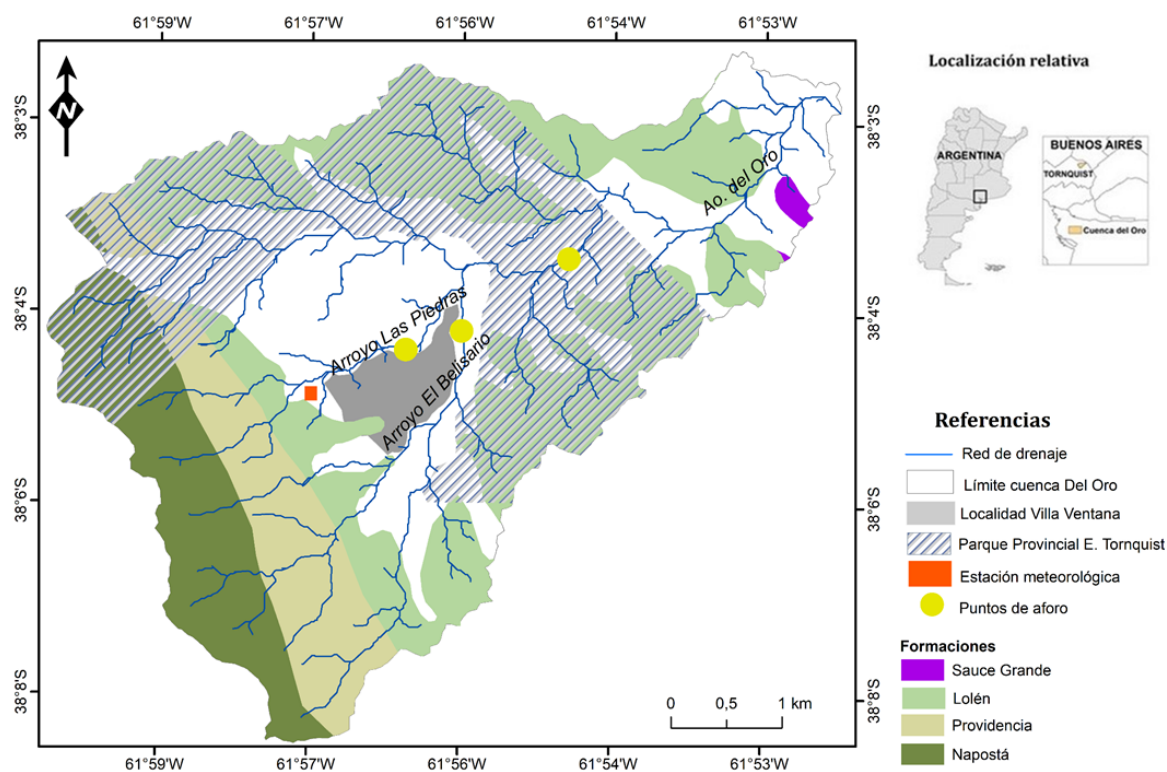
Sobre la base de lo expuesto anteriormente, el principal objetivo de la investigación es aplicar geoindicadores en la cuenca del Oro (Sistema de Ventania, Argentina). Específicamente, se pretende identificar aspectos que permitan diagnosticar y monitorear el estado ambiental de la cuenca y para ello se realizaron grupos de geoindicadores según el objetivo (diagnóstico o monitoreo) y la escala temporal de aplicación: a largo plazo (periodo > a 10 años), mediano (periodo entre 5 y 10 años) y a corto plazo (periodo < 5 años).

1.1. Área de estudio

La cuenca del arroyo del Oro (62 km²) se encuentra en el centro este del cordón de Sierra de la Ventana, Argentina (Figura 1). Este sistema emerge sobre la llanura pampeana como un relieve pronunciado y se extiende en sentido noroeste – sureste a lo largo de 180 km. La morfoestructura de la cuenca se compone de dos regiones contrastadas, la región occidental que está integrada por el Grupo Ventana (Formación Lolén, Providencia y Napostá) y la región oriental que se encuentra en el Grupo Pillahuincó representado por la Formación Sauce Grande (Sellés, 2001).

En la geomorfología de la cuenca se distinguen valles en forma de V, fuertemente excavados sobre los faldeos de las sierras configurando redes con cauces torrentosos que actúan como cuencas de recepción de los cursos que drenan la zona. Al alcanzar el piedemonte, de pendiente más suave, estos pierden capacidad y competencia aplanando y ensanchando el valle por depositación de su carga. En algunos sectores del piedemonte o de la llanura interserrana, la inclinación de la pendiente es tan baja que la red de drenaje adquiere características divagantes e incluso anastomosadas en la cuenca baja (Casado, 2006; Gil y Campo, 2007, Gil, 2010, Gil y Campo, 2012).

Figura 1. Localización de la cuenca del arroyo Del Oro



Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Dentro de la zona serrana, la estructura de los afloramientos condiciona el diseño de drenaje. El régimen fluvial es de tipo irregular, en dependencia directa de las precipitaciones ocurridas en el área, de su estacionalidad y del exceso de agua finalmente disponible para el escurrimiento superficial (Casado, 2006; Casado et al., 2006).

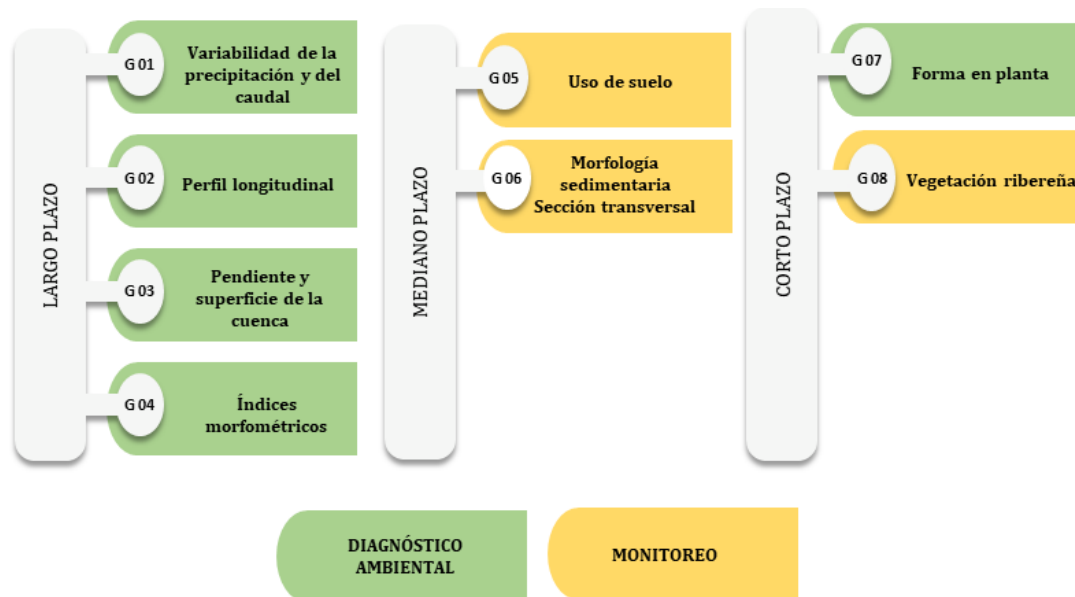
Dentro de los límites de la cuenca se encuentra emplazada la localidad de Villa Ventana y un sector del Parque Provincial Ernesto Tornquist (PPET), área protegida que conserva los últimos relictos del pastizal pampeano. Ambos lugares se destacan por su afluencia turística y por constituir enclaves en expansión y de gran importancia para el desarrollo del turismo regional. Esto se confirma con el informe de la Secretaria de Turismo, Producción, Comercio e Industria para el periodo enero - febrero de 2020, en el cual se destaca que Villa Ventana recibió 5949 turistas mientras que PPET recibió 23.809 turistas (Pérez, 2020).

2. Metodología

En el proceso de selección de los geoindicadores, se consultaron diferentes investigaciones en las cuales se aplicaban metodologías tanto cuantitativas como cualitativas (Capellari, 2011; Alberto, 2012; Horacio García, 2015; Gómes da Silva, 2020; Ollero Ojeda et al., 2021). Sobre esa base se seleccionaron ocho geoindicadores según la escala temporal: escala temporal a largo plazo (variabilidad de la precipitación y del caudal; perfil longitudinal; pendiente y superficie de la cuenca e índices morfométricos); escala temporal a mediano plazo (uso de suelo y morfología sedimentaria); escala temporal a corto plazo (forma en planta y vegetación ribereña) (Figura 2).

La selección se basó en dos criterios: 1) la utilidad de la información obtenida para diagnosticar en qué medida el sistema fluvial ejerce sus funciones geomorfológicas más importantes, que según Ollero Ojeda et al. (2009) son: i) transporte de agua y sedimentos, ii) modelado o construcción de su propio cauce, orillas y espacios anexos, iii) clasificación y distribución de sedimentos, iv) regulación de materia y energía y 2) la posibilidad de monitoreo de cambios, respuesta del sistema ante posibles impactos y posibilidad de recuperación a nivel de tramos en distintas escalas temporales. Este último criterio le imprime originalidad al uso de estos geoindicadores elegidos para el seguimiento hidrogeomorfológico de una cuenca, así como también para caracterizarlas y compararlas con otras o también estudiar diferentes tramos dentro de la misma. Los resultados pueden formar parte de futuras actuaciones de restauración o rehabilitación ambiental.

Figura 2. Geoindicadores aplicados a la cuenca Del Oro según la escala temporal



Fuente: elaboración propia

Para el análisis de la variabilidad de las precipitaciones (G 01) se utilizaron los datos de la estación meteorológica de Villa Ventana (38° 5'30.62"S 61°57'16.16"O) perteneciente a la Red de Estaciones Meteorológicas desarrollada por la Bolsa de Cereales y Productos de Bahía Blanca en conjunto con la Universidad Nacional del Sur desde agosto de 2016. Los datos de caudal utilizados son producto de mediciones de velocidad *in situ* con molinete hidrométrico durante el periodo 2002 – 2005 y el año 2019, ya que la cuenca no se encuentra aforada y no hay series de datos oficiales.

Para el cálculo de los parámetros e índices morfométricos (G 04) se utilizó el Modelo Digital del Terreno (MDE-Ar v2.0) del Instituto Geográfico Nacional, elaborado a partir de una combinación de datos de las misiones satelitales SRTM y ALOS, con una resolución espacial de 30m. A partir del MDE-Ar v2.0 se delimitó la cuenca y posteriormente se jerarquizó la red de drenaje para el cálculo tanto de parámetros como de los índices. La elección de estos se basó en la posibilidad de su utilización como insumo posterior para el reconocimiento ambiental de la cuenca (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros e índices morfométricos

Parámetros morfométricos	
Parámetro	Unidad de medida
Área	Km ²
Perímetro	Km
Longitud del cauce principal	Km
Cota máxima	Metros sobre el nivel del mar (m s.n.m)
Cota mínima	Metros sobre el nivel del mar (m s.n.m)
Índice morfométricos	
Relación de bifurcación (R_b) (Horton, 1945)	
Relación de longitud (R_l) (Horton, 1945)	
Razón de elongación (R_e) (Schumm, 1956)	
Densidad de drenaje (D_d) (Horton, 1932)	
Coeficiente de torrencialidad (C_t)	

Fuente: elaboración propia

Para el análisis del uso de suelo (G 05), se utilizaron imágenes satelitales obtenidas de Google Earth® del año 2021 donde se identificaron y digitalizaron los diferentes usos de suelo residencial, turístico – recreativo y agrícola – ganadero. Por otra parte, se realizaron 3 trabajos de campo (octubre 2019, febrero 2020, febrero 2021) en las cuales se determinó el material sedimentario a partir de la realización de transectas transversales al curso principal (G 06), se realizaron perfiles transversales (G 06 y G 07), se relevó la vegetación ribereña a través de la realización de muestreos areales y lineales y por último se analizó el material leñoso que se encontraba en la zona ribereña (G 08).

3. Resultados

3.1. A largo plazo

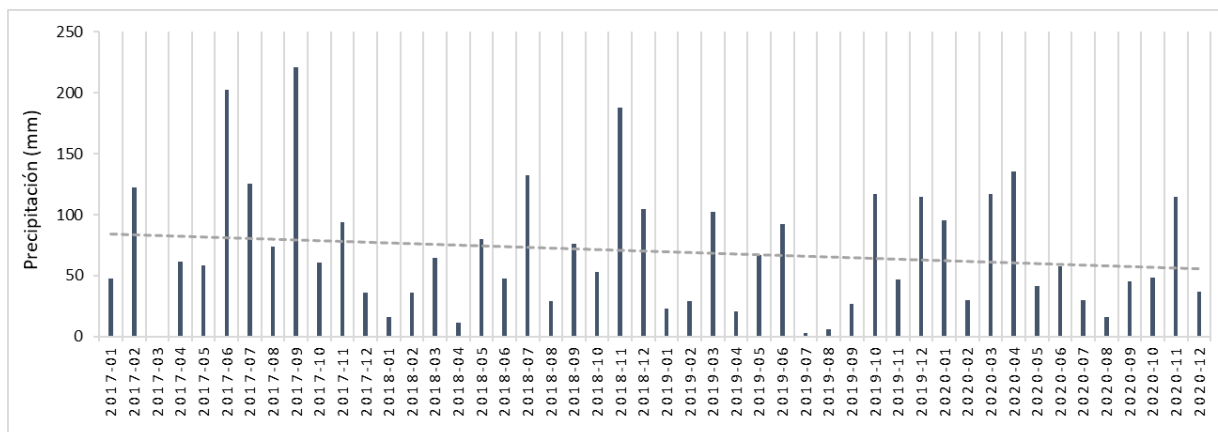
La disponibilidad de información hidrometeorológica, así como resultados confiables que demuestren el comportamiento de los parámetros a escala regional y local es un geoindicador relevante para la toma de decisiones en torno a la gestión del recurso hídrico en una cuenca o región. Aquí se presentan los resultados de manera sintética en tres formas de análisis para cuencas con escasa información hidrometeorológica: las precipitaciones, el caudal y el balance hídrico.

3.1.1. Variabilidad de las precipitaciones y del caudal (G 01)

Regionalmente, el área de estudio está comprendida en la franja de climas templados donde existe una alternancia constante de masas de aire de distinto origen. Esto genera variabilidad en las condiciones de tiempo a lo largo del año y en especial en las precipitaciones (Casado y Campo, 2019). En esta zona los montos anuales de lluvia son afectados por fenómenos atmosféricos a escala global determinando una ciclicidad entre períodos húmedos y secos (Zapperi, 2012; Ferreli y Aliaga, 2015; Casado y Campo, 2019). Por otra parte, a escala local, existe un incremento de los montos anuales de las precipitaciones producto de un realzamiento orográfico dado por el cordón serrano según Gil (2010) y Berón de la Puente et al. (2022).

Para el área de estudio, se dispone de registros para el período 2016 – 2021 (EM Villa Ventana). Del análisis de los 6 años de datos se observa que la precipitación media anual fue 69,9 con una importante variación estacional (Figura3). Los meses que superaron ese valor medio se concentraron principalmente en invierno - primavera registrando los valores máximos en junio 2017 (202,2 mm), septiembre de 2017 (220,88 mm) y noviembre de 2018 (188,19 mm).

Figura 3. Precipitación mensual para el periodo 2017-2020 (EM Villa Ventana)

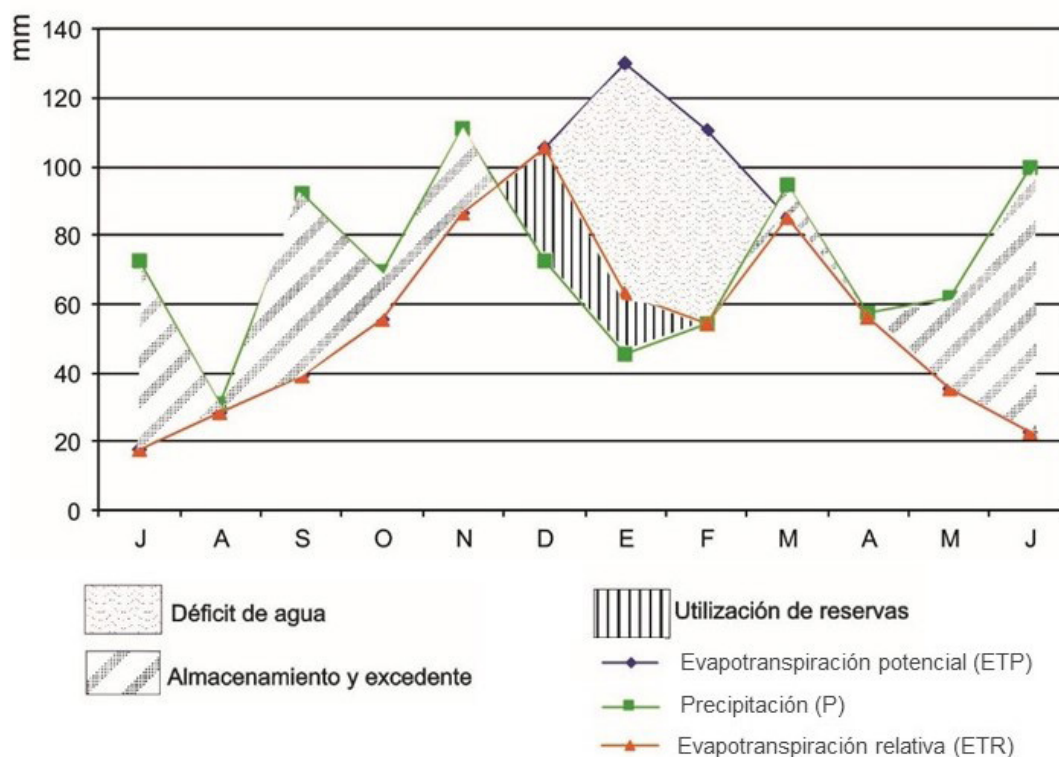


Fuente: elaboración propia sobre la base de los datos de la estación meteorológica EM Villa Ventana

Las cuencas del sistema de Ventania no poseen registros de aforos continuos en el tiempo para realizar análisis hidrológicos consistentes. Por ello, es relevante realizar mediciones de caudal *in situ* en diferentes secciones transversales. Con estos datos puntuales se pueden establecer relaciones con las precipitaciones (única forma de alimentación del sistema fluvial). Así, Casado (2006) registró para la subcuenca El Belisario un caudal medio anual de 0.9 m³/s para el período 2002 – 2005. En el 2019 se realizaron nuevas mediciones en diferentes momentos del año, en el arroyo Las Piedras, oscilando entre 0.6 m³/s en primavera – verano y 0.35 m³/s en otoño – invierno (ambos arroyos pertenecientes a la cuenca de estudio).

Sin recurrir a las estimaciones del comportamiento hidrológico a través del modelado de la relación lluvia-caudal, la propuesta aquí es el cálculo del balance hídrico a partir de la metodología de Thornthwaite (1948). De esta forma se obtienen valores aproximados de cómo es la dinámica del agua en el sistema fluvial y pueden ser un insumo en la planificación. A partir de la interpretación del balance hídrico realizado para el periodo 2017 – 2020 (Figura 4), se puede observar que el excedente de agua que efectivamente está disponible para el escurrimiento es 163 mm. Durante el mes de noviembre se produce un descenso en las precipitaciones y a partir de este mes el sistema comienza a utilizar el agua almacenada en el suelo extendiéndose hasta febrero, entrando en una situación de déficit hídrico los meses de enero (66,7 mm) y febrero (56,4 mm). El descenso de la temperatura en el otoño, junto con la reducción de la superficie foliar de la vegetación produce valores menores de evapotranspiración permitiendo al sistema entrar en una etapa de recarga hasta julio.

Figura 4. Balance hídrico para el periodo (2017 – 2020)



Fuente: elaboración propia

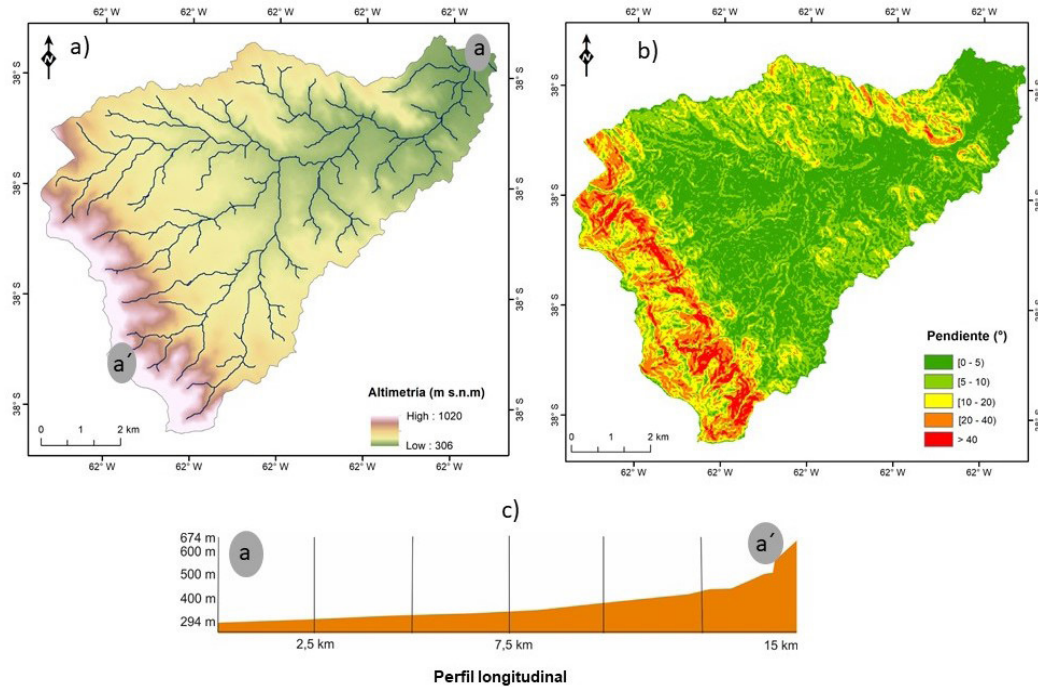
La etapa de exceso hídrico incluye de julio (4,9 mm) a noviembre (24,4 mm). En comparación con el balance efectuado por Casado (2006) para el periodo 2002 – 2005 se puede indicar que el período de excedente y almacenamiento se mantienen en la época del año, sin embargo, el del 2017 – 2020 es de menor duración. Por otra parte, se mantiene la utilización de reservas en el verano. La condición de déficit hídrico se presenta en balance (2017-2020) debido a que la región atravesó un período de sequía. Se puede inferir entonces que en ciclos secos los veranos son las estaciones propensas a las sequías principalmente las hidrológicas.

3.1.2. Perfil longitudinal y pendiente (G 02 y G 03)

La pendiente es un aspecto importante ya que incide directamente en la velocidad del agua y por ende en la energía del caudal para activar procesos hidrosedimentarios. Si a estos resultados se los complementa con los perfiles longitudinales de diferentes sectores, estos posibilitan interpretar los cambios (altura y pendiente) a lo largo de una línea. En la cuenca del Oro la pendiente media es $10,1^\circ$ con un desvío estándar de $8,4^\circ$ indicando este último valor los cambios abruptos en la pendiente a lo largo de la cuenca. Se distinguen las zonas con mayor altitud, donde la pendiente alcanza valores que superan los 40° llegando a un máximo de $68,3^\circ$ en lugares con fuerte inclinación, coincidentes con el sector más elevado de la cuenca (1000-700 m s.n.m.m) y que se caracterizan por presentar cañadones, paredes verticales y una red de drenaje que se desarrolla sobre los afloramientos con valles en forma de V (Figura 5 a y b). La presencia frecuente de paredes verticales con altitudes considerable configura cauces torrentosos en el área de recepción de la cuenca. Al alcanzar el piedemonte, de pendiente más suave (Figura 5 c) los arroyos pierden capacidad y competencia y se desarrollan cauces anchos de fondo plano (Casado, 2006). En algunos sectores pedemontanos o de las llanuras interserranas la inclinación de la pendiente es tan

baja, que la red de drenaje adquiere características divagantes e incluso anastomosadas o *braided* (Gil, 2009; Volonté, 2017).

Figura 5. Altimetría, pendiente y perfil longitudinal de la cuenca del Oro



Fuente: elaboración propia

3.1.3. Índices y parámetros morfométricos (G 04)

A partir del análisis conjunto de diferentes índices morfométricos se puede estimar la dinámica de cuencas, especialmente las no aforadas (Senciales González, 1999; Gil, 2009; Volonté, 2017; Moretto et al., 2019). El área es un parámetro relevante para inferir el volumen de agua recibida y el perímetro ayuda a determinar cartográficamente la forma de la red fluvial. En este caso la cuenca del arroyo del Oro tiene 61.9 km² de superficie y un perímetro de 41.6 km con orientación oeste-este. El cauce principal, determinado según el criterio topográfico (Senciales González, 1999) posee una longitud de 16.5 km y la cota donde nace es de 1020 m s.n.m y donde desemboca 306 m s.n.m.

La Rb es 4.26 (Gil, 2010) corresponde, según la clasificación de Senciales González (1999) a áreas de montaña sin demasiada dependencia estructural. Este valor coincide con los obtenidos para otras cuencas del sistema serrano (Volonté, 2017; Gil et al., 2019 y Moretto et al., 2019). Respecto a la Rl, el valor obtenido es 2,66 (Gil, 2010) lo cual es representativo de cuencas que presentan grandes longitudes en los órdenes superiores. Este índice es poco significativo si se analiza de manera aislada (Senciales González, 1999). En particular, se recomienda analizarlo junto con la Re, cuyo valor para la cuenca es 0.53. Esto indica que se trata de una cuenca que se aproxima más a la forma circular, presentando mayor retardo en la concentración de la escorrentía superficial hacia el cauce principal posibilitando eventos de crecida cuando las lluvias son abundantes y torrenciales. El valor de Re combinado con Rl permite inferir que la mayor energía se concentra en los cauces principales lo cual incrementa aún más el peligro ante situaciones de precipitaciones extraordinarias.

Respecto a la Dd el valor obtenido es 1,58 (Gil,2010) lo cual indica una baja densidad de drenaje, indicio de materiales duros y resistentes, así como también a materiales muy permeables y con alta infiltración (Strahler, 1974). Este valor si bien es menor a los obtenidos en otras cuencas del sistema serrano, se encuentran en el mismo rango de clasificación (inferior a 10) (Gentili, 2012; Volonté, 2017; Moretto et al.,2019). Por último, el Ct (1.20) se relaciona con los procesos de erosión lineal y con la capacidad de descarga de la cuenca, ya que se parte de la premisa que a mayor número de cursos de orden 1 y menor superficie, la torrencialidad es mayor (Senciales González, 1999).

3.2. A mediano plazo

3.2.1. Uso de suelo (G 05)

En la cuenca se desarrollan actividades ligadas al ámbito rural, residencial y de conservación. Respecto a esta última actividad, es importante resaltar la presencia del Parque Provincial Ernesto Tornquist (PPET) ya que ocupa un área de 25,2 km² en la cuenca. El PPET presenta una alta diversidad y la mayor concentración de endemismos de la provincia, siendo además una zona de protección de cuencas hidrográficas. También preserva rasgos geológicos característicos como sus plegamientos, cuencas hidrográficas donde nacen arroyos y ríos importantes, además resguarda pinturas rupestres, manifestaciones de pueblos cazadores recolectores que habitaron la región.

La localidad de Villa Ventana, uno de los principales núcleos turísticos del suroeste bonaerense, posee un uso residencial predominante representando este uso de suelo 2,37 km² del total de la cuenca. Es recién a partir de la década del '90, que la localidad adquiere un importante dinamismo motivado por la actividad turística y la aparición de las viviendas como segundas residencias y los complejos de cabañas orientados al sector turístico. La estructura urbana está determinada por los límites físicos impuestos por ambos arroyos. Las manzanas de mayor superficie se ubican hacia el eje central y las más pequeñas corresponden a algunos sectores que bordean los arroyos y en el ingreso. Además, la expansión urbana está limitada porque las tierras aledañas pertenecen al Parque Provincial Ernesto Tornquist y al ex club-hotel de propiedad del Estado Provincial (Visciarell y Gripo, 2020). El uso agrícola – ganadero ocupa un área discontinua de 10.4 km². Los sistemas productivos son en general mixtos, con una preponderancia de la actividad ganadera bovina sobre la agrícola, debido principalmente a las limitaciones edafo-climática. Coexisten además otras producciones alternativas y/o complementarias como son la apicultura, tambo, producción porcina y lanar y en los últimos años se destaca la presencia de un viñedo (Loewy et al., 2015).

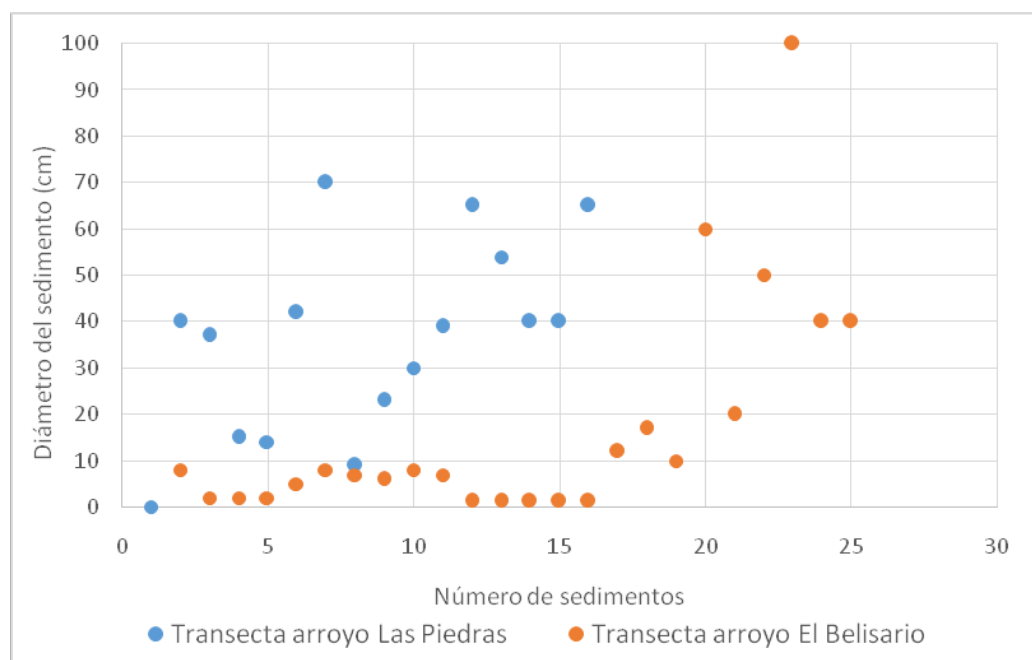
El uso de suelo y sus modificaciones ha sido estudiado desde diferentes perspectivas (Pinilla et al., 2019; González et al.,2020) pero no como un geoindicador para monitoreo ni tampoco asociado a una escala temporal. En este caso, se torna relevante porque los cambios que se producen a lo largo del tiempo impactan en la dinámica fluvial, modificando por ejemplo la entrada de sedimentos al cauce desde las laderas, propiciando un estrechamiento del cauce activo, al tiempo que activa otros procesos de erosión (erosión lateral, cárcavas adyacentes) y estabiliza los depósitos fluviales (barras, llanuras y abanicos), que son colonizados parcial o totalmente por la vegetación (Halifa-Marín et al.,2019).

3.2.2. Morfología sedimentaria (G 06)

La información cuantitativa sobre los procesos de sedimentación es necesaria para el aprovechamiento, control, gestión y preservación o restauración de los ríos. Estos procesos ocurren en todo el sistema fluvial, sin embargo, se observa una predominancia de estos en la parte baja (Basile, 2018). Generalmente se considera que un tramo de río se encuentra en equilibrio cuando la cantidad de sedimentos erosionada es reemplazada por material sedimentario proveniente de aguas arriba (Tuset et al., 2015). Para ello, la obtención y análisis de las muestras sedimentarias permite conocer sobre la dinámica hidrosedimentaria en estos ambientes actuales. Para este geoindicador se priorizan los sedimentos de fondo, es decir, aquellos que permanecen siempre cubiertos de agua. La carga de fondo tiene la particularidad de representar los mayores cambios morfológicos en el canal y permite inferir características del transporte a partir del tamaño del sedimento muestreado. En los tramos donde el fondo es móvil el resultado de mediciones directas sirven para cuantificar la carga de sedimentos transportada en el momento de medición (Heredia Ligorria, 2017). Para la aplicación del geoindicador se tomaron los ejemplos de dos sitios de la cuenca baja (arroyo Las Piedras y arroyo El Belisario) y sobre estos se realizaron transectas transversales al canal principal para medir el sedimento.

La transecta realizada sobre el arroyo Las Piedras (Figura 6) tiene un largo de 25 m y el tamaño promedio de los sedimentos es 38,8 cm. El máximo diámetro fue de 70 cm mientras que el valor mínimo fue 1 cm. Sobre el inicio de la transecta (A - A') se observa una dispersión mayor en los tamaños mientras que sobre el final son más homogéneos. Esto puede deberse a la presencia de una terraza de 45 cm de altura. La transecta realizada en el arroyo El Belisario (Figura 6) tiene un largo de 30 m y el tamaño medio de los clastos es de 12,5 cm. El mayor diámetro fue 100 cm mientras que el más pequeño fue 1,3 cm. Se observa una dispersión menor que en la transecta anterior (Figura 7). El fondo del cauce es homogéneo y se debe a que el material que allí se encuentra es de tamaño grava gruesa-bloque. Para iniciar el transporte de estos sedimentos se necesita velocidades superiores a 20 cm/s y el promedio en este sector del arroyo es de 0,12 cm/s.

Figura 6. Transectas transversales de sedimentos



Fuente: elaboración propia

Figura 7. Fotografías de las transectas transversales de sedimentos



Fuente: fotografías propias

a) y b) transectas sobre el arroyo Las Piedras, Fotografías c) y d) transectas sobre el arroyo El Belisario.

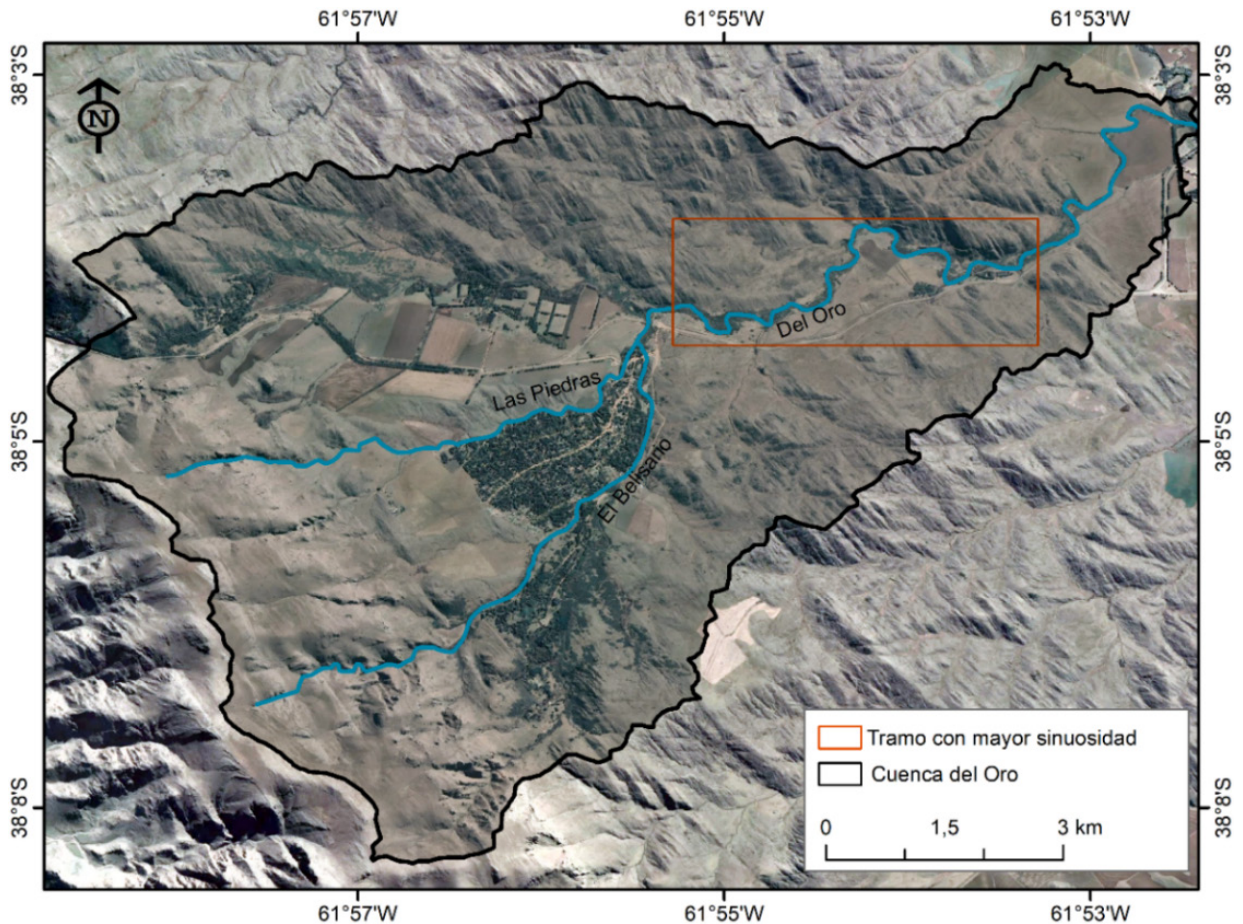
A partir de estos datos, lo observado en el terreno y lo propuesto por Tuset et al. (2015) se puede inferir que los depósitos sedimentarios de menor granulometría del tramo se encuentran activos, con una mínima presencia de vegetación, lo cual muestra que la dinámica fluvial de estos es notable. En el resto del tramo, los depósitos de sedimentos de mayor tamaño que se encuentran con vegetación, indican que no ha habido eventos de crecidas significativos en el último tiempo.

3.3. A corto plazo

3.3.1. Forma en planta (G 07)

La tipología de los canales fluviales depende del conjunto de características naturales (hidrológicas-biológicas-geológicas) y de las acciones antrópicas que la modifican. El índice de sinuosidad da cuenta de las características tanto históricas como presentes de la acción lateral y lineal del cauce principal a lo largo de su recorrido (García, 2014). El resultado de la sinuosidad hidráulica (Senciales González, 1999) en la cuenca es 1,08. Según Schumm (1963) corresponde a un canal rectilíneo, representativo de áreas de montaña, donde la longitud del valle y la longitud del cauce principal prácticamente coinciden. Como se observa en la figura 8, la baja sinuosidad en la cuenca alta está asociada a que los arroyos discurren por líneas de fallas y se encuentran encauzados. Este patrón cambia en la zona de la cuenca baja, donde el resultado obtenido para la sinuosidad es mayor (1,75) indicando un tramo irregular siguiendo la clasificación de Schumm (1963). El aumento de la sinuosidad se da después de la confluencia del arroyo las Piedras y el Belisario, dando lugar al arroyo Del Oro.

Figura 8. Sinuosidad en la cuenca del arroyo Del Oro



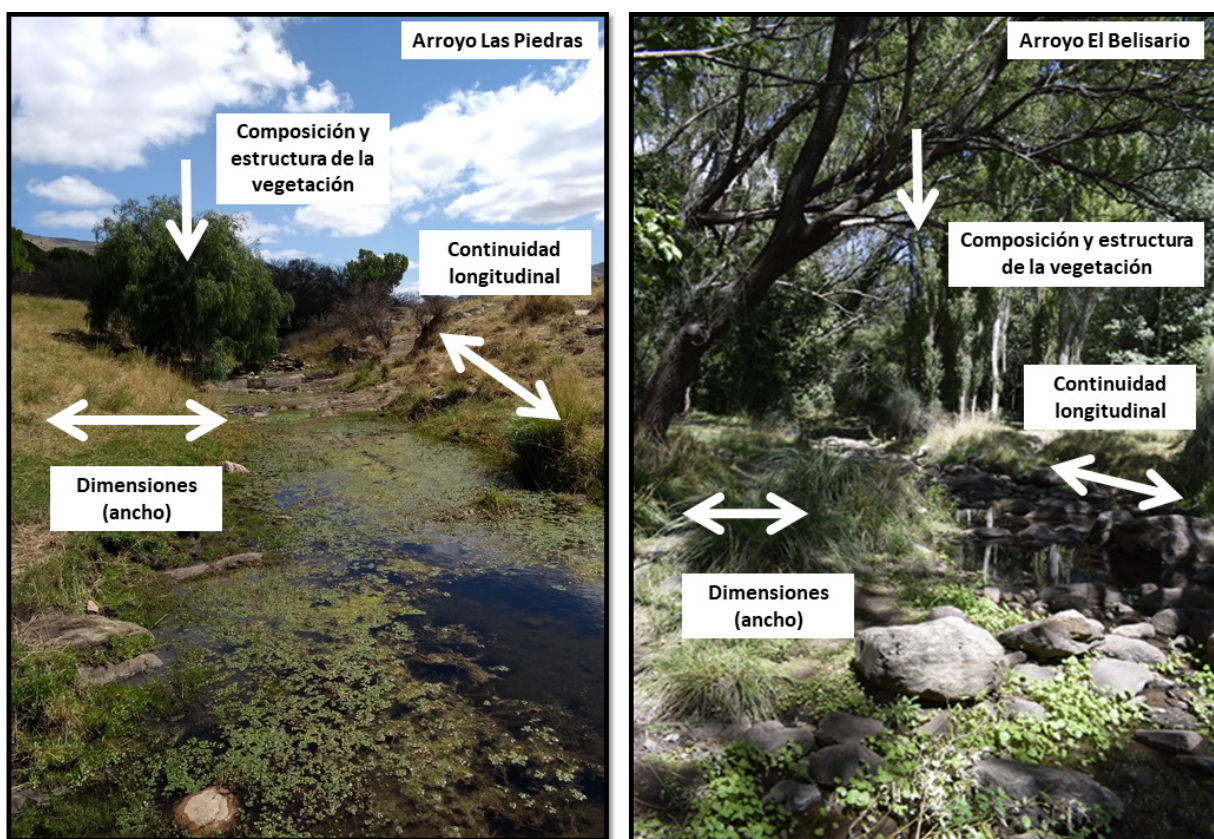
Fuente: elaboración propia

3.3.2. Vegetación ribereña (G 08)

Las riberas fluviales constituyen la interfase entre el ecosistema acuático y el terrestre. Abarcan un gradiente de factores ambientales, procesos hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos y sucesiones de comunidades, siendo receptora de la dinámica fluvial. Las comunidades vegetales constituyen conjuntos dinámicos, que evolucionan adaptándose a las distintas combinaciones de los elementos que componen el medio en el que viven (Gantes et al., 2017).

En cuencas antropizadas como la Del Oro, el accionar antrópico es un factor determinante en la evolución de las comunidades vegetales, ya que por un lado pueden aparecer especies de comunidades que no son específicas del área como así también generar condiciones que degraden el ambiente de esas especies. La vegetación varía considerablemente en tiempo y espacio a lo largo de las márgenes y estas variaciones influyen a su vez, sobre los procesos que ocurren en el agua. Según De Cabo et al. (2020) la estructura de las riberas fluviales se caracteriza de acuerdo a tres atributos que están en relación con las dimensiones del espacio ribereño actual: continuidad longitudinal, composición y estructura de la vegetación y por último extensión lateral (Figura 9).

Figura 9. Estructura de las riberas arroyo Las Piedras y El Belisario



Fuente: elaboración propia

En la cuenca del Oro la vegetación se dispone en bandas paralelas a los cursos de agua, encontrándose dos formaciones vegetales bien definidas: especies herbáceas y arbóreas. El primer aspecto para analizar la vegetación es la conectividad longitudinal, la cual hace referencia a la existencia de un flujo continuo desde la cuenca alta que permite el mantenimiento y funcionalidad del ecosistema de ribera (Garófano Gómez, 2019). En algunos casos, las obras para regular caudales o la infraestructura vial para facilitar la comunicación, interrumpen esa continuidad dando lugar a la fragmentación. En el caso de esta cuenca, se remarca la diferencia entre el arroyo Las Piedras, en el cual la conectividad longitudinal se mantiene, mientras que en el arroyo El Belisario se ve interrumpida por la presencia de un azud que actúa como reservorio de agua. Esto no solo interrumpe el corredor de vegetación, sino que actúa como obstáculo para el caudal líquido y sólido durante las crecidas. Según Campos Lince (2017) cuando la conectividad es limitada, aunque sea en un tramo, todos los procesos que se desarrollan en estos ambientes se ven afectados implicando deterioro del ecosistema, la pérdida de biodiversidad y una disminución en la productividad y capacidad reguladora y de resiliencia.

En relación a la estructura y composición de la vegetación en el caso del arroyo Las Piedras predomina el pastizal continuo integrado principalmente por el género *Stipa* (*S. caudata*, *S. ambigua*). Las especies leñosas son escasas, predominando los arbustos de retama (*Spartium junceum*) y los álamos (*Populus tremula*) distribuidos en paralelo al curso de agua. En el caso del arroyo El Belisario, la vegetación aparece estratificada, encontrándose un estrato de herbáceas, un intermedio de arbustos y el estrato superior integrado por árboles. Al tener agua de manera permanente, a diferencia del arroyo Las Piedras se encuentran asociaciones de especies hidrófilas como *Sene-*

cio bonariensis. En el ambiente serrano los pastizales están expuestos a los excesos hídricos asociados a lluvias abundantes o al desborde de cursos de agua que afectan al ecosistema en forma recurrente. Las especies del pastizal, suelen presentar adaptaciones fisiológicas, anatómicas o de comportamiento que les permiten ajustarse en forma flexible a las condiciones impuestas por las inundaciones y crecidas.

El último aspecto a considerar es la extensión lateral, es decir el área que se debe mantener hacia los márgenes de la ribera o de la llanura de inundación. La principal funcionalidad es proporcionar la humedad necesaria a la ribera y sostener la biodiversidad del ambiente (Garófano Gómez, 2019). En el caso de ambos arroyos la extensión lateral se ve limitada en una de sus márgenes por la localidad de Villa Ventana. En el arroyo Las Piedras sobre la otra margen se extiende sin obstáculos y en el arroyo El Belisario se encuentra en un sector limitado por un sendero interpretativo del PPET.

4. Discusión

La caracterización del funcionamiento y el diagnóstico ambiental de los sistemas fluviales se torna relevante a la hora de buscar soluciones para enfrentar los riesgos y problemas ambientales que puedan suceder (Ollero Ojeda et al., 2011). Los geoindicadores están siendo utilizados con este fin y los resultados obtenidos son viables de aplicación. Tal es el caso de la construcción de un modelo para caracterizar tramos de cursos de agua no modificados por causas antrópicas a partir de diferentes geoindicadores realizado por Tamisier et al. (2017). Así determinan el estado hidrogeomorfológico y cuantifican la desviación respecto de la situación normal pudiendo evaluar el peso de dichas alteraciones. Siguiendo esta línea, en este trabajo se proponen geoindicadores de diagnóstico para generar información base sobre las características ambientales que servirá de referencia del estado de la cuenca y sus tramos. Sumando a estos las variaciones por causas antropogénicas dentro de los geoindicadores y así poder analizar los cambios que se producen por la acción humana y pensar medidas de restauración si fuera necesario.

Para el área de estudio la elección de 8 indicadores representativos de áreas serranas y de las características de la cuenca (zona de transición climática y alta variabilidad de precipitaciones) estuvo sujeta a la sensibilidad de cada uno de ellos a registrar los cambios ambientales. Gomes da Silva (2020) explica el uso variable de estos de acuerdo con el ambiente analizado y su probabilidad de que existan componentes que sean más sensibles al monitoreo de desequilibrios producidos, mientras que Tavares et al. (2007) proponen la elección del geoindicador en función de las características del entorno. Así, algunos de estos son comunes a diferentes ambientes y otros que son propios como el caso del G01 y el G08.

Por otra parte, y en relación a la temporalidad de aplicación de los geoindicadores Rodríguez et al. (2019) analizaron los sistemas fluviales subtropicales y le asignaron relevancia a la variable temporal (décadas, siglos, milenios) sin embargo su aplicación se orientó a la asignación de peso a las modificaciones antrópicas principalmente y no a su gestión. En este trabajo, se resalta la forma de agruparlos con el fin de su directa aplicación como herramienta para la toma de decisiones en la gestión del espacio fluvial. La escala temporal elegida es transversal al objetivo final de aplicación (diagnóstico ambiental o monitoreo).

El uso de diferentes escalas temporales, aplicables a los tiempos de la gestión del recurso hídrico, permite obtener respuestas en aquellos casos que la situación ambiental de la cuenca no sea la óp-

tima. La necesidad de una calificación holística de la calidad fluvial, ha incentivado la aplicación de geoindicadores con diferentes objetivos y como complemento de otras metodologías (Tavares et al., 2007; Dinotte et al., 2020). De este trabajo se destaca que son geoindicadores replicables en otras áreas con características similares, donde el principal insumo de información es el trabajo de campo.

5. Conclusiones

La utilización de geoindicadores permitió obtener información científica y técnica, siendo sus variaciones una forma de reunir información sobre los cambios pasados y presentes y distinguir entre las variaciones naturales y las inducidas por la acción antrópica a diferentes escalas temporales. En este estudio se consideraron ocho geoindicadores aplicables a tres escalas temporales (corto, mediano y largo plazo) y con distintos objetivos (diagnóstico y/o monitoreo). Su aplicación permitió identificar que en la cuenca Del Oro la acción antrópica aún no tiene manifestaciones significativas en la dinámica natural, pero es necesario continuar monitoreando especialmente las áreas ribereñas de los tramos más urbanizados.

En relación con las distintas escalas temporales abordadas en el trabajo, a largo plazo sirvió para sintetizar la información necesaria para el diagnóstico de la cuenca, entendiendo que su dinámica es consecuencia de la acción combinada de diferentes procesos, de la geomorfología fluvial, de la variabilidad pluviométrica y de la actividad antropogénica. Los cambios contemplados desde una perspectiva a largo plazo muestran la tendencia del cambio y, en definitiva, la evolución experimentada por el conjunto de los aspectos trabajados. A mediano y corto plazo la aplicación de los geoindicadores permitió conocer los procesos hidrodinámicos y las formas resultantes que tienen un papel muy importante en la conservación de los ecosistemas fluviales. Las actividades humanas, a través de la utilización del espacio fluvial ha modificado el funcionamiento del hidrosistema generando perturbaciones principalmente en las áreas ribereñas.

El potencial que presenta la utilización de geoindicadores está en relación con que permiten identificar impactos ambientales, monitorear ecosistemas fluviales de forma continua e implementar prácticas de manejo sostenibles en las cuencas. Además, constituyen la base para el diagnóstico ambiental en espacios poco estudiados. Se espera estandarizar dichos geoindicadores para ser aplicados en las demás cuencas del sistema serrano y así obtener no solo información relevante en cuanto a su situación ambiental, sino también para poder comparar cuencas con distintos grados de ocupación y usos de suelo.

Bibliografía

- Alberto, J. (2012). El papel de los geoindicadores en el análisis espacial. Una herramienta de apoyo a la ciencia geográfica. *Revista Geográfica Digital*, 9 (17). Recuperado de: <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/geo/article/view/2249>
- Barbosa Pereira Dinotte, A., Andrade Silva, C. & Rossoni, H. (2020). Contribuição dos geoindicadores como ferramenta na identificação dos processos erosivos associados a Antropogeomorfologia. *Atelie Geográfico*, 14 (1), 155 – 173. Recuperado de: <https://revistas.ufg.br/index.php/atelie>
- Berger, A.R., 1996. The geoinicator concept and its application: an introduction. In: A.R. Berger and W.J. Iams (Ed.), *Geoindicators*. Balkema, Rotterdam, pp. 1-14.
- Berón de la Puente, F. (2021). *Información geoespacial aplicada a la erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napostá Grande* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca.

- Bonetti, J., de Moraes, F., Vilci Campos, A., & Barros Serafim, M. (2018). Geoindicator-based assessment of Santa Catarina (Brazil) sandy beaches susceptibility to erosion, *Ocean & Coastal Management*, (156) 198-208. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.08.009>
- Botini Tavares, A.B., Da Cruz, S.P., & De Lollo, J.A. (2007). Geoindicadores para caracterizar el estado de diferentes ambientes. *Estudios geográficos: Revista electrónica de Geografía*, 5 (2), 42-57.
- Capellari, B. (2011). Aplicação de geoindicadores na bacia do sistema hidrográfico Arantes – São Domingo, MG. (Tesis de posgrado). Universidad de Sao Paulo: Sao Paulo.
- Casado, A. (2006). *Modelo digital para la prevención de incendios forestales en el área de Villa Ventana*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Sur: Bahía Blanca.
- Casado, A.L., Gil, V. y Campo, A.M. (2006). Consecuencia de la variación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del arroyo El Belisario, Buenos Aires, Argentina. *Huellas*, 11, 9 – 26. Recuperado de: <chrome-extension://efaid-nbmnnnibpcajpcglcfindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fwww.biblioteca.unlpam.edu.ar%2Fpubpdf%2Fhuellas%2Fn11a02casado.pdf&clen=608231&chunk=true>
- Casado, A. & Campo, A. M. (2019). Extremos hidroclimáticos y recursos hídricos: estado de conocimiento en el suroeste bonaerense, Argentina. *Cuadernos geográficos*, 58 (1), 6-26. Recuperado de: DOI: 10.30827/cuadgeo.v58i1.6751
- Chow, V., Maidment, D., Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Ed. McGraw-Hill: Bogotá.
- Coltrinari, L. (2001). Mudanças ambientais globais e geoindicadores. *Pesquisas em Geociências*, 28(2), 307-314. Recuperado de: <https://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/20304>
- González, M. A., Gentili, J. O., & Gil, V. (2020). Cambios en la red hidrográfica en un sector del periurbano noroeste y oeste de Bahía Blanca debido a la influencia urbana. *Geografía digital*, 17(33), 17-28.
- Gomes Da Silva, J. (2020). *Análise da morfodinâmica e identificação de geoindicadores de modificações processuais na Bacia Hidrográfica do Rio Beberibe* (Tesis maestría) Universidade Federal de Pernambuco: Recife. Recuperado de: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/38000>
- De Cabo, L., Malignani, E. & Basílico, G. (2020). Los indicadores de calidad de las áreas ribereñas. En: *La bioindicación en el monitoreo y evaluación de los sistemas fluviales de la Argentina. Bases para el análisis de la integridad ecológica*. Domínguez, E., Giorgi, A., y Gómez, N. (eds). Red de Evaluación y Monitoreo de Ecosistemas Acuáticos: Argentina. Recuperado de: <https://ibn.conicet.gov.ar/libro-la-bioindicacion-en-el-monitoreo-y-evaluacion-de-los-sistemas-fluviales-de-la-argentina-bases-para-el-analisis-de-la-integridad-ecologica/>
- Dinotte, A., Silva, C.F. & Rossoni, H. A. (2020). Contribución de los geoindicadores como herramienta en la identificación de procesos erosivos asociados a la Antropogeomorfología. *Ateliê Geográfico*, 14 (1), 155-173. Recuperado de: <https://revistas.ufg.br/index.php/atelie>
- Ferrel, F., & Aliaga, V. (2015). *Variabilidad de las precipitaciones y sus efectos sobre la respuesta espaciotemporal de cuerpos de agua en la región pampeana, Argentina*. (Tesis de especialización) Universidad Nacional de Luján: Luján. Recuperado de: <https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/711>
- Ferreira, M. V. d. S., & Pinton, L. d. G. (2021). Antropogeomorfología em setor de expansão urbana de cidade de médio porte. *RA'EGA*, 53, p. 48-70. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v53i0.76912>
- Flores Díaz, A. C., Argueta, P. I., & Ugalde, A. M. (2017). Monitoreo de indicadores de restauración de cauces y zonas ribereñas afectadas por carreteras: guía para la formulación de propuestas. *Global Water Watch*. Recuperado de: <https://agua.org.mx/biblioteca/monitoreo-indicadores-restauracion-cauces-zonas-riberenas-afectadas-carreteras-guia-la-formulacion-propuestas/>
- Gantes, P., Falco, L., y Sánchez Caro, A. (2017). Diversidad de la vegetación y características morfoedáficas de las riberas de arroyos pampeanos. *Ecol. Austral*, 27 (1), 85-93. Recuperado de: http://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia_Austral/article/view/308
- Gaviria, S. y Angel-Amaya, J. (2019). Geoindicadores aplicados al estudio de los efectos ambientales de la explotación de oro aluvial en la cuenca baja del río Quito, Chocó (Colombia). *Gestión y Ambiente*, 22(2). Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/80078>
- Garófano - Gómez, V. (2019). Investigación sobre los rasgos funcionales de la vegetación de ribera del río Serpis a lo largo de un gradiente longitudinal: desde Beniarrés al mar. Informe de investigación, la Safor, 42 p.
- Gentili, J. (2012). *Hidrografía del arroyo Sauce Corto aplicada al estudio de inundaciones y anegamientos*. (Tesis doctorado). Universidad Nacional del Sur: Bahía Blanca.

- Gil, V. y Campo, A. M. (2007). Carta geomorfológica de la cuenca del arroyo del Oro, Buenos Aires, Argentina. In *XXVI Congreso Nacional y XI Internacional de Geografía, Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas, Universidad Austral de Chile*. Anales. Resumen Expandido (pp. 46-51). Santiago de Chile.
- Gil, V. y Campo, A. M. (2012) Geomorfología y procesos de vertiente. Cuenca alta del río Sauce Grande (Buenos Aires, Argentina). *Revista Cuaternario y Geomorfología*. España. ISSN: 0214-1744. Vol. 26 (1-2). 133-150.
- 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. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 20 (4) 811-824. Recuperado de: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/1598>
- Gomes da Silva, J. (2020). *Análise da morfodinâmica e Identificação de geoindicadores de modificações processuais na Bacia Hidrográfica do rio Beberibe (BHRB)*. (Tesis de maestría). Universidad Federal de Pernambuco, Recife.
- Halifa-Marín, Amar, Pérez-Cutillas, Pedro, Almagro, María, Martínez-Mena, María, & Boix-Fayos, Carolina. (2019). Dinámica geomorfológica fluvial y cambios de usos del suelo: impacto en los reservorios de carbono de suelos y sedimentos. *Bosque (Valdivia)*, 40(1), 3-16. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002019000100003>
- Heredia Ligorria, A. (2017). *Caracterización del transporte de sedimentos en un tramo del río Tercero (Ctalamochita) utilizando tecnología Doppler*. (Tesis de maestría). Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.
- Horacio García, J. (2014). River sinuosity index: geomorphological characterisation. Technical note 2. CIREF and Wetlands International.
- Horacio García, J. (2015). El paradigma de la medicina fluvial como modelo para afrontar la restauración de ríos. *II Congreso Ibérico de Restauración fluvial*. Pamplona, 660 – 664.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). <https://www.ign.gob.ar/area-institucional/datos-abiertos>
- Íñiguez-Ayón, Y., Íñiguez-Sepúlveda, C. y Ayala-Rodríguez, C. (2020) El paisaje fluvial en ciudades medias. Percepción y disponibilidad de pagar para su conservación. *Boletín Científico Sapiens Research*: Vol. 10, (1). Disponible en: <https://www.srg.com.co/bcsr/index.php/bcsr/article/view/405>
- Lebinson, F., Grill, S., Fernández, A.L, Venega, E. (2020). Morfometría y morfogénesis de tafoni en la Brecha Cerro Colorado, Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires: su vinculación con la distribución de espeleotemas silíceos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 7 (1), 20 – 30.
- Loewy, T., Milano, F., Ángeles, G., Saldungaray, M.C., Campaña, D., y Álamo, M. (2015). *Buenas prácticas agrícolas con desarrollo local para el sudoeste bonaerense*. Bahía Blanca: EdiUNS.
- Moretto, B., Gentili, J., y Campo, A.M. (2019). Análisis morfométrico multiescalar en la cuenca alta del arroyo Sauce Corto (Buenos Aires, Argentina). *Huellas*, 23, 149 – 167. Recuperado de: <https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/huellas/article/view/3888>
- Morton, R., Correa, I.D., y del Mar, A.D. (2004). Introducción al uso de geoindicadores de cambios ambientales en costas tropicales húmedas. *Geología Norandina*, 12 (1), 1-15. Recuperado de: <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/26986>
- Ollero Ojeda, A., Ibisate, A., Huarte, E. (2009). El territorio fluvial y sus dificultades de aplicación. *Geographicalia*, 56, 37 – 62. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3298537>
- Ollero Ojeda, A., Ibisate, A., Díaz, E., Granado, D., y Horacio, J. (2011). “Innovación y libertad fluvial”. En *VII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua, Ríos Ibéricos +10. Mirando al futuro tras 10 años de DMA*. Talavera de la Reina, 16,17,18 y 19 de febrero de 2011. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/260425423_Innovacion_y_libertad_fluvial
- Ollero Ojeda, A., Ballarín Ferrer, D., Horacio García, J., Ibisate, A., Mora Mur, D., Sanchez Fabre, M. (2021). Diagnóstico fluvial, impactos en cauces y cambio global: aplicaciones del índice hidrogeomorfológico IHG. *Geographicalia*, 73, 295 – 316. Recuperado de: <https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/geographicalia/issue/view/362>
- Perez, N. (2020). *Informe estadístico enero - febrero 2020. Comarca Sierras de la Ventana*. Secretaria de Turismo, Producción, Comercio e Industria. Recuperado de: <https://tornquist.gob.ar/informe-estadistico-enero-y-febrero-2020-comarca-sierras-de-la-ventana/>
- Pinilla, A. M., Guevara Ochoa, C., Lara, B., Kruse, E. E., & Suaza, C. (2019). Impacto de los cambios de uso del suelo sobre el escurrimiento superficial en zona de llanura: caso de estudio, cuenca superior del arroyo Del Azul. In *X Congreso de Ecología y Manejo de Ecosistemas Acuáticos Pampeanos* (Azul, 20 al 22 de noviembre de 2019).
- Quitanilha de Castro, L., da Rocha, T. & Vieira, R. (2020). Coastal line mapping and vulnerability and susceptibility assessment the coastal erosion between the mouth of the São João River and the mouth of the River Una - Cabo Frio/RJ. *Arquivos de Ciencia do Mar*, 53, 7 – 24. Recuperado de: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/56612>

- Rodrigues, C., Moroz – Caccia Gouveia, I., Luz, R., Veneziani, Y., Simas, I., Silva, J. (2019). Antropoceno e mudanças geomorfológicas: sistemas fluviais no processo centenário de urbanização de São Paulo. *Revista do Instituto Geológico*, São, 40 (1), 105-123. DOI 10.33958/revig.v40i1.631
- Schumm, S. (1963). *A Tentative Classification of Alluvial River Channels*. Circular 477. Washington: Geological Survey
- Sellés Martínez, J. (2001). Geología de la Ventania. Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Journal of Iberan Geology*, (27), 43-69. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=273869>
- Senciales González, J.M. (1999). *Redes fluviales. Metodología de análisis*. Universidad de Málaga: España.
- Strahler, A. N. (1974). *Geografía Física*. Barcelona: Omega.
- Da Silva, A. L., Ribeiro, A. Í., & Longo, R. M. (2020). Los geoindicadores como herramienta para el diagnóstico ambiental en remanentes de bosques en las cuencas hidrográficas de la ciudad de Campinas/SP. *Revista Electrónica Foro Ambiental Da Alta Paulista*, 16 (6). <https://doi.org/10.17271/1980082716620202664>
- Tamisier V., Raufaste S., Gob F., Thommeret N. & Bilodeau C. (2017). *Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau français d'outremer (Carhyce). Spécificités, modalités d'application et valorisation des données Carhyce pour la construction d'un outil d'aide à la gestion des cours d'eau*. Rapport scientifique CNRS (LGP-LADYSS) / Université de Paris Panthéon-Sorbonne/ESGT/AFB, 128 p.
- Tavares, A. B.; Cruz, S. P.; Lollo, J. A. (2007). Geoindicadores para a caracterização de estado de diferentes ambientes. *Estudios Geográficos*, 5(2): 42-57.
- Thornthwaite, C.W. (1948) An approach toward a rational classification of climate. *American Geographical Society* 38(1): 55-94.
- Tuset, J., Vericat, D., Batalla, R. J. (2015). Evolución morfosedimentaria del tramo medio del Río Segre. *Cuadernos de investigación Geográfica*, 41 (1), pp. 23-62.
- Visciarelli, S.M y Grippo, S. (2020). Implicaciones territoriales del desarrollo turístico espontáneo en la provincia de Buenos Aires. El caso de Villa Ventana. En Visciarelli (Ed), *Dinámicas territorializadoras del turismo en el Sudoeste Bonaerense* (pp. 49 – 67). Bahía Blanca: Edius.
- Volonté, A. (2017). *Geomorfología fluvial aplicada al peligro de crecidas. Cuenca del arroyo San Bernardo, Sistema de Ventania, Argentina*. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional del Sur: Bahía Blanca.
- Zapperi, P. (2012). *Hidrografía urbana de Bahía Blanca*. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional del Sur: Bahía Blanca.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco de los proyectos de investigación Geografía Física Aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas ambientales a diferentes escalas témporo-espaciales (24/G092) y Riesgo de inundación asociado a eventos hidrometeorológicos en cuencas de vertientes opuestas del cordón Sierra de la Ventana (AGENCIA – FONCyT 2016/2751).

Contribución de autorías

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.

Financiación

Este trabajo fue realizado en el marco de los proyectos de investigación: Geografía Física Aplicada al estudio de la interacción sociedad-naturaleza. Problemáticas ambientales a diferentes escalas témporo-espaciales (24/G092) financiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional del Sur (UNS) y el proyecto Sistema integrado de monitoreo para la evaluación y gestión de los recursos hídricos del Distrito de Tornquist. (C22-EX-2022-11196674- -GDEBA-DTAYLDLIIIMPCEITGP) financiado por el Ministerio de Producción, Ciencia e Innovación Tecnológica de la provincia de Buenos Aires a través del Fondo de Innovación Tecnológica de Buenos Aires (FITBA).

Conflicto de intereses

Las autoras de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.