

Aplicación de indicadores biológicos en cursos de agua de la ecorregión Pampa

**Alberto Rodrigues Capítulo
Nora Gómez**

Aplicación de indicadores biológicos en cursos de agua de la ecorregión Pampa

Alberto Rodrigues Capítulo y Nora Gómez

Resumen

Los ríos pampeanos discurren por un territorio con un intenso uso urbano y agropecuario, expuestos a fuentes de contaminación puntuales y difusas, que abarcan desde el enriquecimiento con materia orgánica y nutrientes hasta una variada lista de desechos industriales y agropecuarios, algunos de carácter tóxico. El avance de la urbanización, la expansión de la frontera agrícola, conjuntamente con las nuevas prácticas en la agricultura y ganadería, no han sido acompañadas de una planificación y gestión adecuadas. Esto ha generado un progresivo deterioro de la calidad del ambiente y del agua en particular, cuyo diagnóstico y monitoreo requieren del empleo de múltiples indicadores, entre ellos los bióticos. En este capítulo se abordará el desarrollo y aplicación de indicadores biológicos empleados en el monitoreo de las cuencas de la Provincia de Buenos Aires (Ecorregión Pampa).

Palabras clave: Sistemas lóticos pampeanos, biomonitoreo, calidad del agua, calidad del hábitat.

Abstract

Pampean rivers run through a territory with intense urban and agricultural use, being exposed to point and diffuse sources of pollution, including from enrichment with organic matter and nutrients to a varied contamination by industrial and agricultural waste, some with toxic characteristics. The advance of urbanization, the expansion of the agricultural frontier together with the new practices in agriculture and livestock has not been accompanied by adequate planning and management. This situation has generated a progressive deterioration in the water quality and habitat whose diagnosis and monitoring requires the use of multiple indicators, including biomonitors. In this chapter we will discuss the development and application of biological indicators used in the monitoring of the basins located in the Buenos Aires province (Pampa Ecoregion).

Keywords: *Pampean lotic systems, biomonitoring, water quality, habitat quality.*

Los ríos y arroyos pampeanos están expuestos a una fuerte intervención antropogénica como consecuencia del intenso uso urbano y agropecuario del suelo. Esto ha conducido a que esta área del país, de gran relevancia desde el punto de vista socio-económico, esté expuesta a diferentes problemáticas ambientales que abarcan desde el enriquecimiento con materia orgánica y nutrientes, hasta la contaminación por desechos industriales y agropecuarios, algunos de carácter tóxico. Desafortunadamente, el avance de la urbanización y la expansión de la frontera agrícola, conjuntamente con las nuevas prácticas en la agricultura y ganadería, no han sido acompañadas de una planificación y gestión adecuadas. Esto ha generado un progresivo deterioro de la calidad ecológica de sus redes hídricas, cuyo diagnóstico y monitoreo requieren del empleo de múltiples indicadores entre los que se deben considerar los vinculados a la biota.

En este capítulo, se abordará el desarrollo y aplicación de indicadores biológicos empleados para monitorear el estado de las cuencas de la Provincia de Buenos Aires, pertenecientes a la Ecorregión Pampa. Se trata de un área en la cual se emplazan los principales conglomerados urbanos de la Argentina, entre ellos los correspondientes al área metropolitana, que abarca una superficie de 3.880 km² y alrededor de 12.800.000 habitantes (INDEC, 2010). Por otra parte, esta provincia reúne la mayor superficie del país sembrada con soja, además de llevarse a cabo prácticas ganaderas extensivas e intensivas (*feedlots*). La contaminación que acarrearán estas actividades, sumadas a la destrucción del hábitat, han conducido al deterioro de los sistemas fluviales que la atraviesan. Esta situación originada en las últimas décadas, ha generado la necesidad de que desde el ámbito científico se exploren y desarrollen distintos indicadores bióticos, para así poder contar e incorporar estas herramientas a la evaluación y monitoreo más adecuados a las características limnológicas de los ríos y arroyos pampeanos.

Características de los cursos de agua de la llanura pampeana en la Provincia de Buenos Aires

De acuerdo a la geomorfología y a las cuencas de drenaje, en la provincia de Buenos Aires pueden reconocerse varias áreas hidrográficas según Frenguelli (1956) y modificado por Ringuelet (1962), (Fig. 1), además de los ríos alóctonos que atraviesan la región y otras áreas que carecen de ríos permanentes.

Estos cursos de agua discurren por una superficie de escasa pendiente (1m/km), con una densidad de drenaje de ríos y arroyos de 0.16 km/km² (Sala *et al.*, 1998). Los cauces están compuestos por sedimentos finos, con abundantes detritos orgánicos; la velocidad de la corriente es baja y frecuentemente transportan agua con elevada turbiedad,

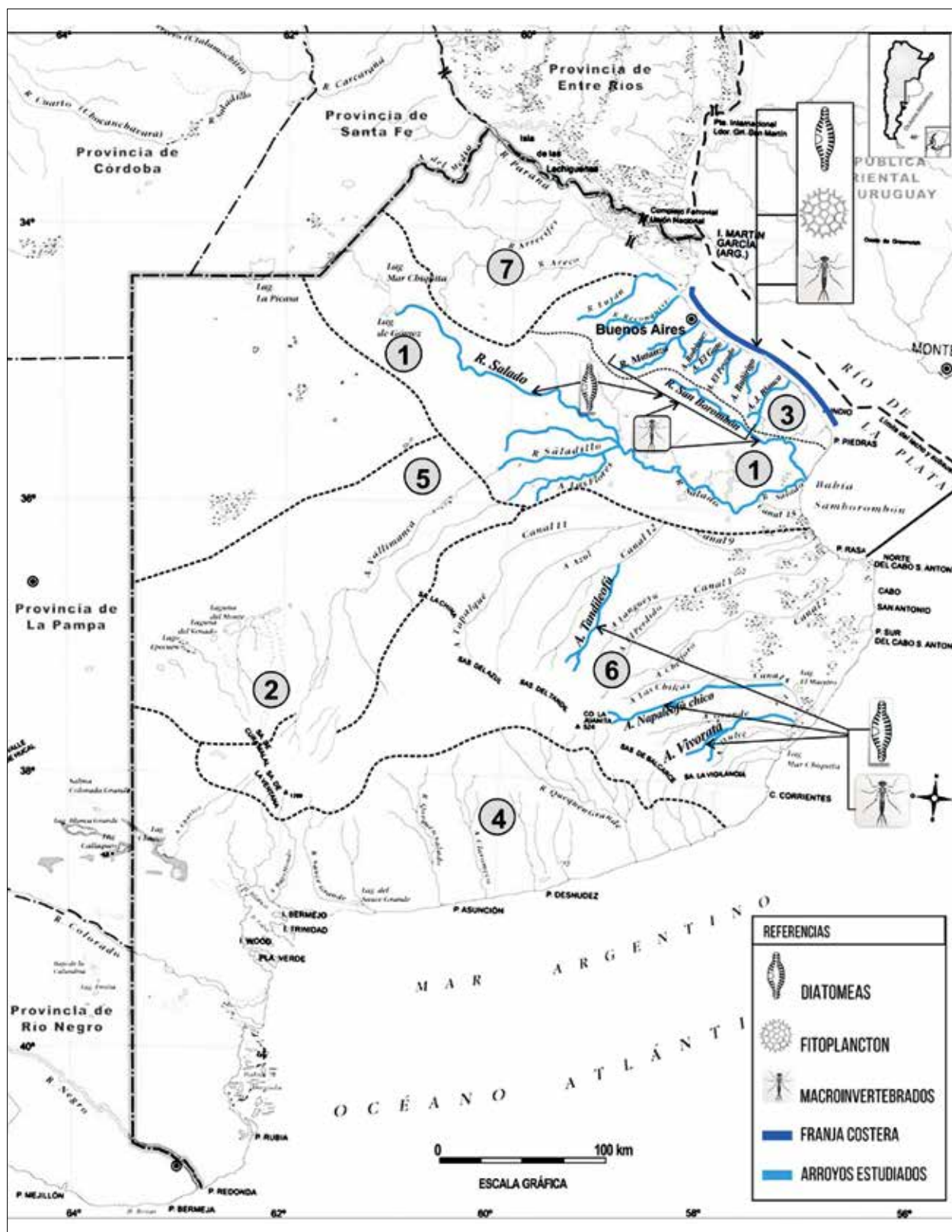


Figura 1: Cuencas hidrográficas de la provincia de Buenos Aires (modificada de Freguelli, 1956; Ringuet, 1962): (1) Sistema del río Salado; (2) Cuenca endorreica derivada del noroeste de las sierras de la Ventana. (3) Afluentes del estuario del Río de Plata; (4) Cursos de agua con pendiente hacia el océano Atlántico originados en las sierras de la Ventana y las colinas de las sierras de Tandil; (5) Sistema del arroyo Vallimanca que drena hacia el río Salado; (6) Cursos con pendiente atlántica derivados del noreste de las sierras de Tandil y Balcarce; (7) Afluentes del río Paraná. Se indican los cursos de agua en los cuales se emplearon índices bióticos y las comunidades biológicas empleadas en cada caso.

nutrientes y conductividad (Rodríguez Capítulo *et al.*, 2010). Estos cursos de agua en general están alimentados por lluvias que ocurren en las inmediaciones y por vertientes, sumado al aporte que realizan las napas freáticas en determinadas zonas. Algunos cursos de agua de la llanura pampeana bonaerense suelen ser temporarios o semi-permanentes, con características similares a los de zonas semidesérticas. Presentan un recorrido meandroso, consecuentemente expuestos a la evapotranspiración, lo que contribuye a la salinización de los mismos, particularmente los que atraviesan la Pampa deprimida (Fig. 2a).

La escasa pendiente de la región por la que discurren estos ríos, con un régimen irregular del caudal, suele provocar el estancamiento del agua durante la estación seca, lo cual favorece el desarrollo de algunas comunidades bióticas como es el caso del plancton (conjunto de organismos que viven suspendidos en la columna de agua). Asimismo, el desarrollo de macrófitas (plantas acuáticas) es una característica distintiva de estos cursos de agua, a las que se reconoce como elementos claves en la estructuración de estos sistemas acuáticos (Feijó y Lombardo, 2007; Feijó *et al.*, 2011, 2012). Por ejemplo, en la orilla de los arroyos y bañados es frecuente observar la presencia de juncales, totorales y pajonales mixtos. También se visualizan plantas semisumergidas de los géneros *Ceratophyllum* (cola de zorro), *Myriophyllum* (helechito de agua), *Stuckenia* (espiga de agua), *Ludwigia* (duraznillo de agua), entre otros, o de plantas flotantes como *Lemna*, *Spirodella* (lentejas de agua), *Azolla* (helechito de agua), *Pistia* (repollito de agua), etc. Esta diversidad de macrófitas también favorece el desarrollo del epifiton (comunidad de organismos microscópicos que viven sobre las plantas) (Giorgi *et al.*, 1998). El fondo de los arroyos también alberga al epipelon (comunidad de organismos adaptada a vivir en los sedimentos finos que incluyen bacterias, protozoos, pequeños invertebrados y microalgas entre las que se destacan las diatomeas y las cianobacterias) (Gómez *et al.*, 2009). La variedad de hábitats que ofrecen las plantas acuáticas y los que se

encuentran en el lecho de los cauces son aprovechados por una diversa y numerosa comunidad de macroinvertebrados y peces (Rodríguez Capítulo *et al.*, 2010).

En la provincia de Buenos Aires, la suave pendiente pampeana solo se ve interrumpida por las elevaciones de las sierras del Sistema de Tandilia (650 msnm.) y Ventania (1.250 msnm.) donde los arroyos presentan un predominio de fondo pedregoso o pedregoso-arenoso, con escasa turbidez y mayor velocidad del flujo. (Fig. 2 b). En estos cursos de agua, las macrófitas presentan menor diversidad, con predominio de aquellas adaptadas a la mayor velocidad de corriente como potamogetonáceas (*Potamogeton*, *Stuckenia*, etc.) y una fauna de invertebrados reófila (adaptado a la corriente de agua), (Rodríguez Capítulo *et al.*, 2003).

Empleo de indicadores biológicos

La diversidad de comunidades acuáticas representadas en los arroyos pampeanos ha favorecido la posibilidad de explorar distintos indicadores biológicos permitiendo su empleo en la evaluación y monitoreo de algunos ecosistemas acuáticos. Entre las comunidades más utilizadas se encuentra la bentónica (organismos que se encuentran sobre el fondo), secundada por la planctónica (organismos suspendidos en la columna de agua). El empleo de algunos ensambles de especies que integran estas comunidades es frecuente, como es el caso de los macroinvertebrados, las diatomeas bentónicas y el fitoplancton. (Fig.3). A partir de la información que proveen los componentes bióticos que se acaban de mencionar, surgen los diferentes indicadores biológicos que se emplean en ríos y arroyos.

Estos abarcan desde los niveles supra-organismicos, tales como índices bióticos, biomasa algal y cambios estructurales de las comunidades, hasta los que implican el nivel de organismo y subcelular, como cambios morfológicos de



Figura 2: Arroyos de la Ecorregión Pampa. a) A° Juan Blanco (Pdo. de Magdalena, Prov. Buenos Aires) caracterizados por meandros y semicubierto por macrófitas. b) A° Ventana en las serranías de Sierra de la Ventana, con sedimentos pedregosos.

los individuos, y cambios en las respuestas fisiológicas y bioquímicas, empleados particularmente en los diagnósticos ecotoxicológicos (Fig.3).

Índices bióticos

La primera aproximación al empleo de la biota para evaluar la contaminación de los sistemas fluviales pampeanos se remonta al trabajo de Fernández y Schnack (1977), quienes relacionaron el impacto de los efluentes de un frigorífico sobre la biota de un arroyo de la localidad de La Plata. Para esta finalidad utilizaron índices de diversidad y el índice de *rankings* de Kendall. En tanto el primer requerimiento por parte de un organismo de gestión para emplear indicadores bióticos data de la década del noventa, cuando la Secretaría de Ambiente de la Nación decide utilizar biomonitores para evaluar y

monitorear el grado de contaminación de la cuenca Matanza-Riachuelo. La motivación de este requerimiento estuvo fundamentada en la propuesta de un plan de rehabilitación para este curso de agua. En este estudio se presentan los primeros resultados empleando diatomeas bentónicas así como meso y macroinvertebrados presentes en el bentos y en macrófitas (INCYTH-CETUAA-ILPLA, 1995). De esta manera se incorporó por primera vez un criterio biológico que contemplaba el grado de perturbación que generaba la actividad urbano-industrial, con el objeto de ofrecer una herramienta de monitoreo que contribuyera a la gestión del saneamiento de dicha cuenca (Rodríguez Capitulo *et al.*, 1997; Gómez y Rodríguez Capitulo, 1997). En este monitoreo se emplearon los índices de diversidad de Shannon-Wiener (Shannon y Weaver, 1963), de saprobiedad (Sladeczek, 1973), de Déficit de especies (o taxones) de Kothé (1962) (Gómez, 1999). También se diseñó un índice que

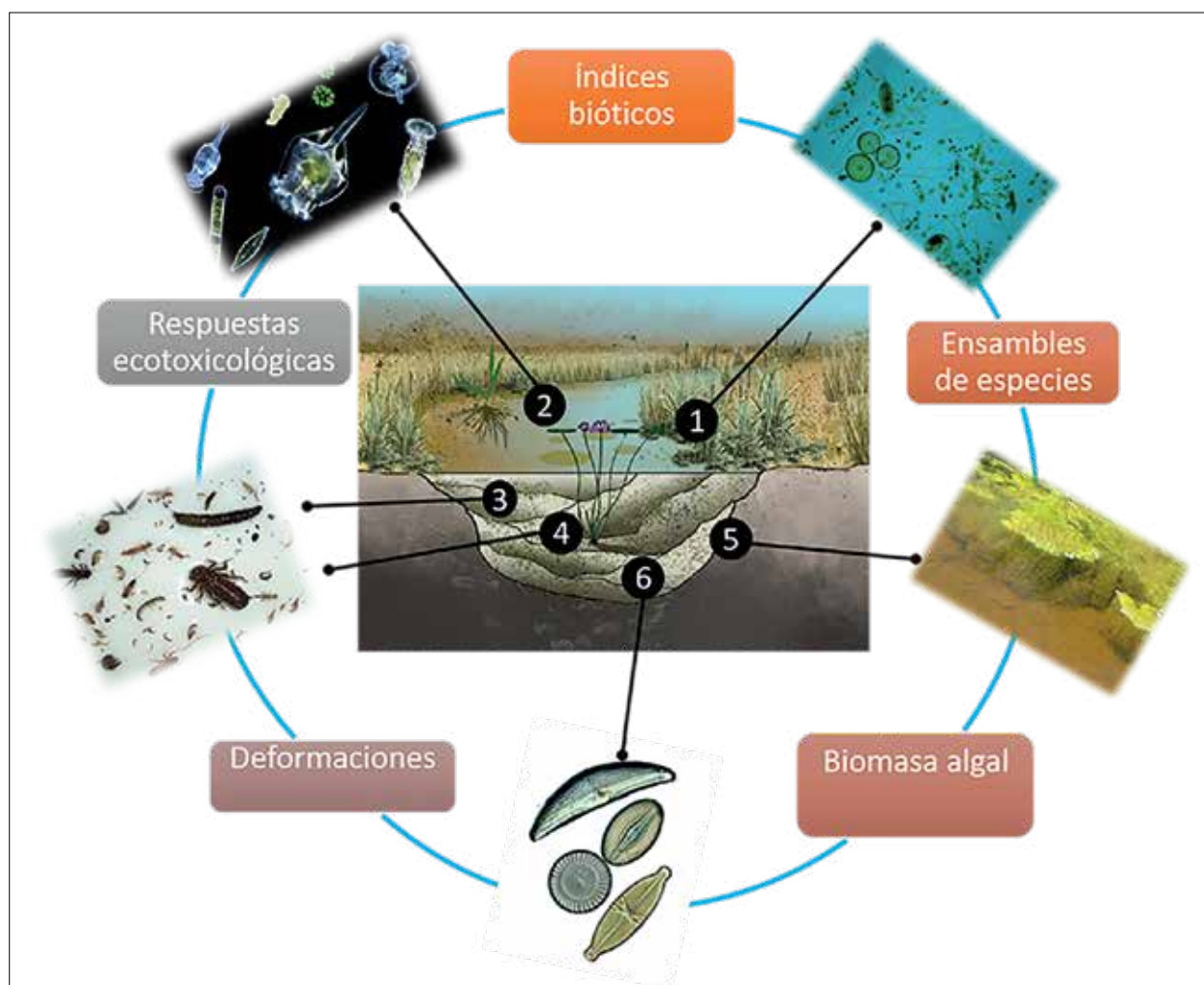


Figura 3: Metodologías y principales comunidades o asociaciones de especies utilizadas de forma frecuente en el monitoreo de ríos y arroyos pampeanos. Los recuadros coloreados indican diferentes niveles de análisis de los bioindicadores, mientras que los números corresponden a: 1) fitoplancton, 2) zooplancton, 3) macroinvertebrados bentónicos, 4) macroinvertebrados asociados a plantas acuáticas, 5) perifiton o biofilms, 6) diatomeas bentónicas.

utilizó los macroinvertebrados de diferente sensibilidad (IMRP) y que fuera luego expandido a otros sistemas lóticos pampeanos (Rodríguez Capítulo *et al.* 1997; Rodríguez Capítulo, 1999; Gómez y Rodríguez Capítulo, 2001).

Ante la necesidad de contar con índices que reflejaran particularmente las características ecológicas de la biota de los cursos de agua de la Ecorregión Pampa, se desarrollaron dos nuevos índices regionales: el Índice de Diatomeas Pampeano (IDP) (Gómez, 1998; Gómez y Licursi, 2001) y el Índice Biótico Pampeano (IBPAMP) (Rodríguez Capítulo *et al.*, 2001). Estos índices permitieron evaluar la calidad del agua de varios ríos y arroyos distribuidos tanto en la llanura como en los sistemas serranos de Tandilia (Fig. 2). Años más tarde, ambos índices fueron incluidos en el "Programa de Monitoreo Integrado de Calidad de Agua Superficial y Sedimentos de la Cuenca Matanza-Riachuelo y Sistematización de la Información Generada", que lleva adelante la Autoridad de Cuenca Matanza-Riachuelo (ACUMAR). Estos índices aportan información sobre la calidad del agua, principalmente eutrofización y contaminación con materia orgánica y del hábitat, y su aplicación fue ampliada a otras cuencas como la sección baja del Río Uruguay, en el sector influenciado por el funcionamiento de una planta de producción de celulosa. En este caso los datos obtenidos contribuyeron a establecer una línea de base para evaluar los cambios ambientales a escala espacial y temporal (Gómez *et al.*, 2008; Rodríguez Capítulo *et al.*, 2008).

Posteriormente se realizaron otras aproximaciones en busca de nuevas herramientas de monitoreo tales como los métodos multimétricos. En tal sentido García *et al.* (2009) exploraron los ensambles de macroinvertebrados que habitan los arroyos cercanos a la localidad de Magdalena, utilizando métricas tales como la densidad de familias más abundantes, la densidad de larvas de efemerópteros (moscas de un día, efimeras) y de tricópteros (friganeas) (ET), la relación existente entre ET y el total de macroinvertebrados y la relación entre ET y oligoquetos, las cuales resultaron buenos estimadores de la calidad biológica y consecuentemente de la calidad del agua.

También se emplearon métodos multimétricos para el biomonitoreo del sector costero de agua dulce del estuario del Río de la Plata (Gómez, 2014; Gómez *et al.*, 2012). En este caso se utilizaron métricas vinculadas al fitoplankton y a los ensambles de especies de diatomeas y de macroinvertebrados bentónicos. Las métricas exploradas fueron de tres tipos: las relacionadas con la densidad y la biomasa de organismos, con la riqueza y diversidad de las especies y con la tolerancia a la contaminación. Las métricas fueron seleccionadas por sus respuestas significativas a los cambios en la calidad del agua y fueron integradas en el Índice de Integridad Biótica para el Río de la Plata (IBIRP) (Gómez *et al.*, 2012).

En el marco de los estudios realizados en el río Reconquista (Prov. de Bs. As.) por Salibián (1996, 2006, 2013) y Peluso *et al.*, (2016) entre otros, vinculados a la caracterización de los problemas de contaminación, particularmente de carácter tóxico, también se emplearon índices bióticos de macroinvertebrados (Topalián *et al.*, 2001).

Índices de ribera

La valoración ambiental de las riberas es una tarea necesaria para contribuir al conocimiento del estado ecológico de los cursos de agua, lo cual permite evaluar los méritos de eventuales experiencias de manejo, impactos antropogénicos o bien detectar problemas ambientales de forma temprana. En la última década, en el ámbito científico de la provincia de Buenos Aires, ha surgido un interés particular por mejorar los conocimientos sobre los hábitats acuáticos ribereños. Esta tendencia deviene de la necesidad de contar con información de base apropiada y desarrollar herramientas para el manejo y la eventual rehabilitación de los cursos de agua. Es así como se han realizado estudios que permitieron analizar el impacto del uso del suelo sobre la calidad de ribera y el modo en que esto repercute en la estructura de comunidades como las de macrófitas, de peces, de macroinvertebrados y de aves (Feijó *et al.*, 2012, Granitto *et al.*, 2016). Como resultado de estos trabajos se desarrollaron índices de ribera para arroyos de zonas rurales (Troitiño *et al.*, 2010; Basílico *et al.*, 2015), para la zona costera del Río de la Plata (Gómez y Cochero, 2013) y para cursos de agua que atraviesan zonas urbanizadas (Cochero *et al.*, 2016), este último aplicado recientemente en la evaluación de la Cuenca Matanza-Riachuelo. Muchos de los índices mencionados, para realizar la valoración del hábitat, incluyen a componentes bióticos tales como especies indicadoras de contaminación, cobertura de macrófitas, vegetación de ribera, etc.

La composición de los ensambles de especies en la evaluación de los cursos de agua pampeanos

El empleo de cambios en la composición de especies que conforman las comunidades también ha sido una herramienta empleada para la diagnosis del estado de salud de los cursos de agua pampeanos. En tal sentido, la comunidad planctónica ha sido utilizada como un buen descriptor de este tipo de situaciones tanto en las cuencas de los ríos Matanza-Riachuelo, Reconquista, Luján y numerosos arroyos que atraviesan zonas con distinto grado de contaminación en la llanura pampeana (Gómez y O'Farrell, 2014), como en el sector costero de agua dulce del estuario del Río de la Plata (Gómez, 2014; Sathicq *et al.*, 2017). Asimismo, la composición específica del zooplankton ha sido utilizada para explicar cambios en la biota en cursos de agua sometidos a la contaminación urbana e

industrial en el Río Luján y sus afluentes (Momo y Casset, 1989; Coll, 1990 y Maccor, 1997) y de un arroyo contaminado, cercano a la ciudad de La Plata (Modenutti, 1987). Por otra parte, el perifiton que se desarrolla sobre las plantas acuáticas (epifiton), fue utilizado como indicador de contaminación difusa en la cuenca superior del río Reconquista (Vilches *et al.*, 2016) y en un tributario del río Luján, en este caso para advertir el efecto de los cambios de la calidad del agua causados por un efluente industrial (Giorgi y Malacalza, 2002). Por otro lado, los ensambles o asociaciones de especies de anélidos oligoquetos han sido utilizados para caracterizar diferentes sectores de un arroyo periurbano cercano a la ciudad de La Plata (Sampons, 1986). De manera similar se emplearon con éxito los ensambles de anélidos hidrúneos o sanguijuelas, permitiendo detectar cambios en la calidad del agua en arroyos del sistema serrano de Tandil (Cortezzi *et al.*, 2018). Por otra parte Cortezzi *et al.* (2013) emplearon el conjunto de macrofitas, biofilm epipélico y los ensambles de macroinvertebrados para diagnosticar la degradación de la calidad del agua y del hábitat en un arroyo expuesto a los efluentes de una industria textil del partido de La Plata.

Cabe agregar que algunos estudios sobre grupos de vertebrados han aportado información valiosa para la evaluación de sistemas fluviales. Por ejemplo el empleo de los ensambles de peces ha sido utilizado recientemente en el monitoreo de la cuenca Matanza-Riachuelo (Colautti *et al.*, 2015); por otra parte la herpetofauna y las aves han sido utilizadas en varias oportunidades para evaluar con su biodiversidad algunos humedales en ambientes lindantes a esa cuenca, integrándose al programa que lleva adelante la Autoridad de la Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR, 2010).

Otros indicadores biológicos empleados en el diagnóstico de cursos de agua pampeanos

Además de los mencionados bioindicadores existen otros indicadores que se utilizan en el diagnóstico de la calidad ecológica de ecosistemas acuáticos. Por ejemplo el empleo de métodos de evaluación basados en alteraciones morfológicas a nivel del organismo o subcelular han sido empleados con buenos resultados en el diagnóstico de sistemas lóticos afectados por la contaminación de carácter tóxica. Entre ellos el porcentaje de deformaciones en los frústulos de diatomeas bentónicas (ej. cambios en la forma y alteraciones en la ornamentación de las valvas) y de los cloroplastos (ej. cloroplastos fragmentados y alteraciones en su morfología) son empleados en el monitoreo de la cuenca Matanza-Riachuelo. También se han utilizado las deformaciones de los mentones de los quironómidos (dípteros), que revelaron una estrecha correspondencia con las concentraciones de metales pesados en arroyos pampeanos (Cortezzi *et al.*, 2011).

La proporción de especies sensibles, tolerantes y muy tolerantes a la contaminación constituye otra herramienta de biomonitoreo que también ha sido empleada en cursos de agua de la llanura pampeana. A modo de ejemplo se puede mencionar su aplicación en la Cuenca Matanza-Riachuelo, utilizando los taxa de diatomeas y de macroinvertebrados bentónicos, lo que permitió caracterizar dicha cuenca, identificando el avance o retroceso de las condiciones de la calidad del agua (ACUMAR, 2010). El empleo de diatomeas bentónicas y de macroinvertebrados también fue utilizado para detectar contaminación en cursos de agua del este de la provincia de Buenos Aires (Licursi, 2005, Rodríguez Capítulo *et al.*, 2001); asimismo estos taxa fueron empleados en la costa del estuario del Río de la Plata y sus afluentes en la localidad de Magdalena, con la finalidad de evaluar las consecuencias de un derrame de petróleo acontecido por la colisión de dos buques en el año 1999 (Ocon *et al.*, 2008).

Por otra parte se ha utilizado el método basado en la simplificación (o acortamiento) de las conexiones de las cadenas tróficas para el diagnóstico de la calidad del agua y del hábitat en algunos cursos de agua del partido de La Plata, expuesto al efecto de diferentes usos del suelo (López van Oosterom, 2014).

También se han empleado estudios ecotoxicológicos en organismos nativos sensibles a contaminantes presentes en ambientes acuáticos pampeanos (Ej.: el pez *Cnesterodon decemmaculatus*, el anfípodo *Hyalella curvispina* y el anfibio *Rhinella arenarum*). Asimismo se emplearon con el mismo propósito algunas especies exóticas como es el caso del pez *Cyprinus carpio* (Ferrari, 2015).

El uso de microalgas ha permitido evaluar la toxicidad del agua en ríos y arroyos (Magdaleno *et al.*, 2001; Gómez *et al.*, 2003; 2008; Bauer, 2009). Por otra parte, el empleo de experiencias realizadas *in situ* con macroinvertebrados y macrofitas resultaron efectivas para analizar el impacto de la contaminación en arroyos cercanos a la ciudad de La Plata (Graça *et al.*, 2002).

El uso de biomarcadores (definido en el capítulo 4), cuyo empleo permite obtener información sobre señales tempranas de alerta ambiental vinculadas al daño que generan algunos contaminantes en concentraciones bajas o subletales, cuenta con antecedentes para algunos sistemas lóticos de la llanura pampeana en peces, macroinvertebrados, anfibios y algas (Herkovits *et al.*, 2007; Ossana, 2011; Peluso, 2011; Lajmanovich *et al.*, 2012; Scarcia, 2014; Lavarias, 2017). Si bien estos estudios dan cuenta de su utilidad en el diagnóstico ambiental aún no han sido incorporados rutinariamente por los organismos de gestión de la provincia de Buenos Aires (Scarcia, 2014).

Consideraciones finales

El empleo de biomonitores proporciona indicadores de síntesis robustos que facilitan la interpretación de la información, lo cual es particularmente importante en el ámbito de la gestión ambiental durante los procesos de toma de decisiones. El éxito de su empleo requiere de una selección adecuada del indicador biológico acorde al objetivo a evaluar, su validación para el área que se pretende aplicar, y la correcta interpretación de los resultados.

Si bien existe una serie de antecedentes en la aplicación de biomonitores para la llanura pampeana, el nivel de conocimiento de la calidad biológica de las cuencas hidrográficas es aún exiguo. Una parte importante de este conocimiento ha surgido a partir del interés del ámbito científico mediante el desarrollo de proyectos de investigación que aportaron datos sobre el estado de salud de algunas cuencas de la provincia de Buenos Aires tales como los sistemas fluviales Matanza Riachuelo, Reconquista, Luján, del Gato, entre otros.

La escasa inclusión de estas herramientas de monitoreo para la evaluación del impacto antropogénico por parte de los organismos de gestión, constituye un inconveniente importante al momento de realizar los diagnósticos y generar planes para prevenir daños ambientales. Estas evaluaciones de impacto normalmente priorizan medidas de carácter físico-químico, mientras que los aspectos biológicos pasan a un segundo plano o a veces ni siquiera son considerados.

La profusa literatura mundial referida a la utilidad de los indicadores bióticos constituye una prueba contundente acerca de la necesidad de incorporarlos en los diagnósticos y monitoreos ambientales. Sin lugar a dudas, la comprensión de la utilidad de estas herramientas redundará en un aporte importante para la conservación de los ecosistemas acuáticos de la llanura pampeana y de los servicios ecosistémicos que éstos proveen. El uso de estas herramientas permitirá advertir en forma temprana los aspectos a corregir en los cursos de agua y la manera de realizar el seguimiento, aportando además medidas correctivas para mejorar la calidad ecológica de las cuencas.

Finalmente, cabe remarcar la necesidad de intensificar la búsqueda de indicadores bióticos pertenecientes a niveles tróficos superiores, como por ejemplo peces, aves y anfibios, que seguramente contribuirán a que los estudios ambientales sean más completos, integrando distintas escalas espaciales y temporales en el diagnóstico del estado de salud de los ecosistemas acuáticos.

Bibliografía

ACUMAR. 2010: http://www.bdh.acumar.gov.ar/bdh3/analisisdemuestra_listado.

Basilico, G.O., De Cabo, L. y A. Faggi. 2015. Adaptación de índices de calidad de agua y de riberas para la evaluación ambiental en dos arroyos de la llanura pampeana. *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat.*, n.s. 17, 119-134.

Bauer, D.E. 2009. *Ecología del fitoplancton de arroyos pampeanos y su valor como indicador de la calidad del agua* (Tesis doctoral N°1039). Facultad de Ciencias Naturales y Museo. 262p. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10915/4366>.

Cochero, J., Cortelezzi, A., Tarda, A. S. & N. Gómez. 2016. An Index to Evaluate the Fluvial Habitat Degradation in Lowland Urban Streams. *Ecological Indicators*, 71: 134-44.

Colautti, D., Brancolini, F., García, I., García de Souza, J. et al. 2015. Monitoreo de la ictiofauna en cursos de agua superficial de la cuenca hidrográfica Matanza-Riachuelo. Informe Final. Disponible en: <http://www.acumar.gov.ar/content/documents/8/5338.pdf>.

Coll, M.L. 1990. Evaluación de los efectos de aguas del río Luján sobre una población del zooplancton mediante el uso de bioensayos de laboratorio. Trabajo de seminario. Univ. CAECE. Buenos Aires.

Cortelezzi A., Gullo B.S., Simoy M.V., Cepeda R. E., Marinelli, C.B., Rodrigues Capítulo, A. & I. Berkunsky. 2018. Assessing the Sensitivity of Leeches as Indicators of Water Quality. *Science of the Total Environment*, 624: 1244-49.

Cortelezzi, A., Paggi, A. C., Rodríguez, M. & A. Rodrigues Capítulo. 2011. Taxonomic and nontaxonomic responses to ecological changes in an urban lowland 2 stream through the use of Chironomidae (Diptera) larvae. *Science of the Total Environment* 409: 1344-1350.

Cortelezzi, A., Sierra, M. V., Gómez, N., Marinelli, C. & A. Rodrigues Capítulo. 2013. Macrophyte s, Epipelic Biofilm, and Invertebrates as Biotic Indicators of Physical Habitat Degradation of Lowland Streams (Argentina). *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 5801-5815.

Feijoó, C., Gantes, P., Giorgi, A., Rosso, J.J y E. Zunino. 2012. Valoración de la calidad de ribera en un arroyo pampeano y su relación con las comunidades de macrófitas y peces. *Biología Acuática*, 27: 105-11.

Feijoó, C., Giorgi, A. & N. Ferreiro. 2011. Phosphate Uptake in a Macrophyte-Rich Pampean Stream. *Limnologica*, 41: 285-89.

- Feijóo, C. & R. Lombardo. 2007. Baseline Water Quality and Macrophyte Assemblages in Pampean Streams: A Regional Approach. *Water Research*, 41(7): 1399-410.
- Fernández, L. y J.A. Schnack. 1977. Estudio preliminar de la fauna bentónica en tramos poluidos de los arroyos Rodríguez y Carnaval (Provincia de Buenos Aires). *Ecosur*, 4 (8): 103-115.
- Ferrari, L. 2015. La ecotoxicología aplicada a la evaluación de la contaminación de los ríos: El caso del Río Reconquista. *Ciencia e Investigación*, 65: 17-35.
- Frenguelli, J. 1956. Rasgos generales de la hidrografía de la provincia de Buenos Aires, *Publ. L.E.M.I. T.*, 2 (62): 1-19.
- García, M. E., Rodrigues Capítulo, A. y L. Ferrari. 2009. El ensamblaje de invertebrados y la calidad del agua: indicadores taxonómicos y funcionales en arroyos pampeanos. *Biología Acuática*, 26: 109-120.
- Giorgi, A., Feijóo, C., Calviño, P & F. Duttweiler. 1998. Annual Variation of Periphyton Biomass in Two Plain Streams with Different Macrophyte Abundance. *SIL Proceedings, 1922-2010*, 26: 1698-701.
- Giorgi, A. & L. Malacalza. 2002. Effect of an industrial discharge on water quality and periphyton structure in pampean stream. *Environmental Monitoring and Assessment*, 75: 107-119.
- Gómez, N. 1998. Use of epipellic diatoms for evaluation of water quality in the Matanza- Riachuelo (Argentina), a pampean plain river. *Water Research*, 32: 2029-2034.
- Gómez, N. 1999. Epipellic diatoms of a high contaminated basin from Argentina (Matanza-Riachuelo river): biotic indices and multivariate analysis. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 2: 301-309.
- Gómez N. 2014. Phytoplankton of the Río de Plata Estuary. In: Phytoplankton of Argentina and the Antarctic Peninsula. In *Advances in Limnology*, 65: 444.
- Gómez N. y J. Cocheró. 2013. Desarrollo de un índice del hábitat para el sector costero de agua dulce del Río de la Plata (Franja Costera Sur). *Ecología Austral*, 23: 18-26.
- Gómez, N. & M. Licursi. 2001. The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and streams in Argentina. *Aquatic Ecology*, 35: 173-181.
- Gómez, N., Licursi, M., Bauer, D., Ambrosio, E. & A. Rodrigues Capítulo. 2012. Assessment of Biotic Integrity of the Coastal Freshwater Tidal Zone of a Temperate Estuary of South America through Multiple Indicators. *Estuaries and Coasts*, 35 (5): 1328-39.
- Gómez N., Licursi, M., Bauer, D. E. Hualde, P. R. y M.V. Sierra. 2003. Reseña sobre las modalidades de estudio mediante la utilización de microalgas en la evaluación y monitoreo de algunos sistemas lóticos pampeanos bonaerenses. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 38 (1-2): 93-103.
- Gómez, N., M. Licursi, y M.V. Sierra. 2008. Estudio de los biofilms del río Uruguay en el área de Gualeguaychú y zonas aledañas. En Proyecto de Vigilancia Ambiental en el Río Uruguay en el Área de Gualeguaychú y Zonas Aledañas. Segundo Informe de Avance. Asistencia Científica y Técnica de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata: 213 p.
- Gómez, N. & I. O'Farrell. 2014. Phytoplankton from Urban and Suburban Polluted Rivers». *Advances in Limnology*, 65:127-42.
- Gómez, N. y A. Rodrigues Capítulo. 1997. Empleo de indicadores biológicos en la costa bonaerense del Río de la Plata. *Rev. Museo. Fac. Cs. Nat.*, 9: 41-44.
- Gómez, N. y A. Rodrigues Capítulo. 2001. Los bioindicadores y la salud de los ríos. Gaviño Novillo, M. (Edit) 2001 Indicadores ambientales 2000, Actas del V Seminario Internacional Ingeniería y Ambiente, Documentos del Departamento de Hidráulica H.doc N° 3, Serie Gestión Ambiental, Facultad de Ingeniería-UNLP, La Plata, Argentina, 109-118.
- Gómez N., Sierra M. V., Cocheró J., Licursi M. & D.E. Bauer. 2009. Epipellic biofilms as indicators of environmental changes in lowland fluvial systems. In: *Biofilms: Formation, Development and Properties*. Hauppauge New York: Nova Science.
- Gómez, N. Sierra, V. Cortelezzi, A. & A. Rodrigues Capítulo. 2008. Effects of Discharges from the Textile Industry on the Biotic Integrity of Benthic Assemblages. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 69: 472-79.
- Graça M.A.S., Rodrigues Capítulo, A., Ocon, C. & N. Gómez. 2002. In situ tests for water quality assessment: a case study in Pampean rivers. *Water Research*, 36: 4033-40.
- Granitto, M., Rosso, J., Boveri, M.B. 1, y M.M. Rennella. 2016. Impacto del uso del suelo sobre la condición de ribera en arroyos pampeanos y su relación con la estructura de la comunidad de peces. *Biología Acuática*, 31: 19-27.
- Herkovits, J., Rodrigues Capítulo, A., Servant, T. R., Pérez-Coll, C., Gómez N, Muñoz L., Domínguez, O., Cortelezzi, A. y M. Licursi. 2007. Estudio ecotoxicológico del arroyo Las Conchitas (Buenos Aires). I. Toxicidad en agua y sedimentos. II. Parámetros físico-químicos y relevamiento de la biota. En: *Salud Ambiental y Humana: Una Visión Holística*. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Buenos Aires: 50-54.

- INCYTH-CTUAA-ILPLA.1995. *Evaluación de la cuenca Matanza-Riachuelo a partir del estudio de la comunidad bentónica*. Report. Buenos Aires. 150 pp.
- INDEC. 2010. *Publicación del Censo Nacional de Población, hogares y Viviendas. Censo del Bicentenario*. Resultados definitivos. Serie B N° 2. Argentina. <http://www.indec.gov.ar>
- Kothè, P. 1962. Der «Artenfehlbetrag», ein einfaches Gütekriterium und seine Anwendung bei biologischen Vorflutuntersuchungen. *Dt. Gewässerkd. Mitt.* 6: 60-65.
- Lajmanovich R.C., Peltzer, P.M., Attademo, A.M., Cabagna-Zenklusen, M.C. y C. M. Junges. 2012. Los agroquímicos y su impacto en los anfibios: un dilema de difícil solución. *Revista Química Viva*, 3:184-198.
- Lavariás, S., Ocon, C., López van Oosterom, V., Laino, A., Medesani, D. A., Fassiano, A., Garda, H., Donadelli, J, Ríos de Molina, M., & A. Rodrigues Capítulo. 2017. Multibiomarker Responses in Aquatic Insect *Belostoma Elegans* (Hemiptera) to Organic Pollution in Freshwater System. *Environmental Science and Pollution Research*, 24: 1322-37.
- Licursi, M. 2005. *Efectos de las perturbaciones antropogénicas sobre la taxocenosis de diatomeas bentónicas en sistemas lóticos pampeanos* (Tesis doctoral N° 0859). Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10915/4475>.
- López van Oosterom, M.V. 2014. *Relaciones tróficas de los principales macroinvertebrados en sistemas lóticos de la llanura pampeana: su relación con la calidad de agua* (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata [sedici.unlp.edu.ar, http://hdl.handle.net/10915/33754](http://hdl.handle.net/10915/33754).
- Maccor, T. 1997. *Comunidades zooplanctónicas del río Luján: su uso como indicadoras de impacto ambiental* (Tesis). Universidad CAECE.
- Magdaleno, A., Puig, A., De Cabo, L., Salinas, C., Arreghini, S., Korol, S., Bevilacqua, S., López, L. & J. Moreton. 2001. Water Pollution in an Urban Argentine River. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 67: 408-415.
- Modenutti, B. E. 1987. Caracterización y variación espacial del zooplancton del Arroyo Rodríguez (Prov. de Buenos Aires, Argentina). *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Uiv. Autón. México*, 14: 21-28.
- Momo, F.R. y M.A. Casset. 1989. Zooplancton (Copepoda y Cladocera) del arroyo Las Flores, afluente del río Luján. XIV Reunión Arg. de Ecología.
- Ocon, C. S., Rodrigues Capítulo, A. & A. Paggi. 2008. Evaluation of zoobenthic assemblages and recovery following petroleum spill in a coastal area of Río de la Plata estuarine system, South America. *Environmental Pollution*, 156, 82-89.
- Ossana, N. A. 2011. *Biomarcadores de contaminación acuática: estudios en los ríos Luján y Reconquista* (Tesis Doctoral). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Disponible en: http://digital.bl.fcen.uba.ar/collection/tesis/document/tesis_n5070_Ossana.
- Peluso, M. L. 2011. *Evaluación de efectos biológicos y biodiversidad de contaminantes en sedimentos del Río de la Plata y afluentes* (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10915/18420>.
- Peluso, M. L., A. Salibián y A. E. Ronco. 2016. Esquema para la categorización de la peligrosidad de sedimentos de fondo contaminados de sistemas fluviales. *Limnetica*, 35: 159-174.
- Ringuelet, R. 1962. *Ecología Acuática Continental*. Buenos Aires, Eudeba: 137 p.
- Rodrigues Capítulo, A. 1999. Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de ambientes lóticos en el área pampeana. en Simposios IV Cong. Arg. de Entomología, Mar del Plata. *Rev. Soc. Ent. Argentina*, 58: 208-217.
- Rodrigues Capítulo, A., Paggi A.C., César I.I. y M. Tassara. 1997. Monitoreo de la calidad ecológica de la cuenca Matanza Riachuelo a partir de los meso y macroinvertebrados. Resúmenes II Congreso Argentino de Limnología. Buenos Aires. 18 al 24 septiembre de 1997: 138.
- Rodrigues Capítulo, A., Cortezzi A., Ocón C., Spaccesi F., Armendáriz L., Ferreira A.C., López V. y E. S. Ambrosio. 2008. Capítulo 3: Bentos del tramo inferior del Río Uruguay en el área de Gualeguaychú y zonas aledañas. Estado actual de las poblaciones de macro y meso invertebrados y su relación con la posible contaminación producto de las industrias papeleras (Entre Ríos, Argentina) (3 informes: 2007-2008). Convenio SAYDS (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación), Universidad Nacional de la Plata-FCNyM-ILPLA), 213 p.
- Rodrigues Capítulo, A., Gómez N., Giorgi A. & C. Feijoó. 2010. Global changes in pampean lowland streams (Argentina): implications for biodiversity and functioning. *Hidrobiología*, 657: 53-70.
- Rodrigues Capítulo, A., Ocón C. S. y M. Tangorra. 2003. Una visión bentónica de ríos y arroyos pampeanos. *Biología Acuática*, 21: 1-18.
- Rodrigues Capítulo, A., Tangorra M. & C. Ocón. 2001. Use of Benthic macroinvertebrate to assess the biological status of pampean streams in Argentina. *Aquatic Ecology*, 35: 109-19.

Sala, J. M., Kruse E. E., Rojo A., Laurencena P. y L. Varela. 1998. *Condiciones hidrológicas en la Provincia de Buenos Aires y su problemática*. Cátedra de Hidrología General, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, Publicación Especial.

Salibián, A. 1996. Calidad del agua del río Reconquista: Segunda etapa en el monitoreo físico, químico y biológico. En: Zalazar RH (Ed.), *Cuencas hídricas. Contaminación. Evaluación de riesgo y saneamiento*. Instituto Provincial de Medio Ambiente (Gov. Prov. Buenos Aires), 108-109.

Salibián, A. 2006. Ecotoxicological assessment of the highly polluted Reconquista River of Argentina. In: Ware GW (Ed.). *Reviews of Environmental Contamination And Toxicology*, 185: 35-65.

Salibián, A. 2013. Estudios sobre el estado del río Reconquista. En: Malacalza L, *Ecología y Ambiente*, 2da. Edición, ACIEL-INEDES: 204-211

Sampons, M. R. 1986. Oligoquetos bentónicos del Arroyo Rodríguez. *Neotrópica*, 35 (94): 101-112.

Sathicq, M.B., Gómez, N. Bauer D. E. & J. Donadelli. 2017. Use of phytoplankton assemblages to assess the quality of coastal waters of a transitional ecosystem: Río de la Plata estuary. *Continental Shelf Research*, 150: 10-17.

Scarcia, P.I. 2014. *Biomarcadores de contaminación de teleósteos dulceacuícolas como herramienta de evaluación de ambientes acuáticos afectados por compuestos orgánicos persistentes* (Tesis doctoral N°5507). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Disponible en; http://digital.bl.fcen.uba.ar/collection/tesis/document/tesis_n5507_Scarcia.

Shannon, C. E., & W. Weaver. 1973. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, IL: The University of Illinois Press, 1-117.

Sladeczek, V. 1973. System of water quality from the biological point of view. *Advances in Limnology*, 7: 128 p.

Topalian, M. L., Castañé, P.M, Salibián, A., Romano, L., Rodríguez Capitulo, A. y A. Puig. 2001. Diversos enfoques sobre la situación del río Reconquista; una vision desde la fisicoquímica: lo que se sabe y lo que no se sabe. *Agua Tecnología y Tratamiento-Saneamiento Ambiental*, 26 (136): 38-42.

Troitiño, E., Costa, M.C., Ferrari, L. y A. Giorgi. 2010. La conservación de las zonas ribereñas de un arroyo pampeano. I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras, Azul, Buenos Aires, Argentina. Tomo II: 777-784.

Vilches, C., Casco, M.A. y A. Giorgi. 2016. El perifiton como indicador de contaminación difusa: el caso de la cuenca superior del río Reconquista (Buenos Aires, Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.*, 51 (4): 579-595.

