



## RECUPERACIÓN EN LA CALIDAD DE SEDIMENTOS FLUVIALES IMPACTADOS POR EFLUENTES URBANOS EN USHUAIA, TIERRA DEL FUEGO.

### QUALITY RECOVERY OF FLUVIAL SEDIMENTS IMPACTED BY URBAN EFFLUENTS IN USHUAIA, TIERRA DEL FUEGO

Diodato, Soledad<sup>1,2</sup>; Mansilla, Romina<sup>1,2</sup>; Escobar, Julio<sup>1</sup>; Méndez-López Melissa<sup>3</sup>; Gómez-Armesto Antía<sup>3</sup>; Moretto, Alicia<sup>2,1</sup>; Marcovecchio, Jorge<sup>4,5,6</sup>; Nóvoa-Muñoz, Juan Carlos<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC) -CONICET, <sup>2</sup>Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales (ICPA), Universidad Nacional de Tierra del Fuego (UNTDF), <sup>3</sup>Facultad de Ciencias, Universidad de Vigo; <sup>4</sup>Instituto Argentino de Oceanografía (IADO)- CONICET/UNS; <sup>5</sup>Universidad FASTA; <sup>6</sup>Universidad Tecnológica Nacional (UTN).

[sole22diodato@gmail.com](mailto:sole22diodato@gmail.com)

#### Resumen

Los sedimentos ejercen una influencia significativa sobre los ecosistemas acuáticos ya que intervienen en la dinámica de nutrientes. En este trabajo se evaluó la calidad de sedimentos fluviales de tres cursos de agua impactados en diferente grado por efluentes cloacales en la ciudad de Ushuaia. Se evaluaron pH, carbono orgánico ( $C_{org}$ ), nitrógeno total ( $N_{total}$ ) y fósforo reactivo soluble (PRS) durante 2013, 2014, 2017 y 2018, a lo largo de cada cuenca. No se hallaron diferencias entre las épocas de muestreo, ni tampoco entre momentos pre y post mejoramiento de la infraestructura cloacal ocurrida en 2016. Ni el Arroyo Grande ni el Río Olivia presentaron diferencias entre sus tramos en los nutrientes evaluados, mientras que el sitio más bajo del Arroyo Buena Esperanza presentó menor pH y mayores concentraciones de  $C_{org}$ ,  $N_{total}$  y PRS. Resulta necesario un tiempo más prolongado para que los sedimentos logren recuperarse de forma natural.

**Palabras clave:** nutrientes, efluentes cloacales, sedimentos, restauración.

#### Introducción

Los sedimentos de fondo ejercen una influencia significativa sobre los ecosistemas acuáticos ya que intervienen en la dinámica global de los nutrientes (Oelsner y Stets, 2019). El sedimento no es un mero compartimento inactivo, sino que en él ocurren numerosos procesos biogeoquímicos que determinan el ciclo global de los elementos a escala de toda la cuenca (López, 2009). El aporte de nutrientes en los sedimentos fluviales proviene mayoritariamente de la carga orgánica que posea el curso de agua, ya sea por producción autóctona o alóctona. Cuando el curso se ve impactado por el vuelco de efluentes urbanos, las concentraciones de N y P aumentan, lo cual contribuye a la eutrofización del sistema. En la ciudad de Ushuaia, los cursos de agua que desembocan en la zona costera del Canal Beagle han sufrido impacto en distinto grado por vuelco de efluentes cloacales crudos durante las últimas décadas (Diodato, 2013). A partir de 2016 se han implementado mejoras en la infraestructura cloacal, por lo cual varios vuelcos directos han sido clausurados, disminuyendo así la carga orgánica aportada a dichos cursos. La calidad del agua ha mejorado principalmente en el Arroyo Grande, mientras que en el Arroyo Buena Esperanza ha permanecido deteriorada (Diodato et al., 2018), por lo cual nos preguntamos qué ha ocurrido con el sedimento, receptor final del material orgánico. El objetivo de este trabajo fue verificar si hubo una recuperación en la calidad de los sedimentos fluviales de los cursos de agua impactados por efluentes cloacales.

#### Materiales y Métodos

Se seleccionaron tres cuencas urbanas: Arroyo Grande (AG), Arroyo Buena Esperanza (ABE) y Río Olivia (RO). En cada una de ellas se seleccionaron 3 sitios: uno aguas arriba (a), otro en la zona media (m) y otro cerca de la desembocadura sobre la costa (d) (Fig. 1). Los sitios altos carecen de impacto urbano ya que están por encima de la línea del ejido y se encuentran rodeados de bosques vírgenes de *Nothofagus pumilio*. Los sitios intermedios y bajos están directamente influenciados por los vuelcos cloacales.



Figura 1. Mapa del área de estudio con los nueve sitios de muestreo. Por referencias ver texto.

Por otro lado, el RO está en las afueras de la ciudad por lo cual sólo presenta el impacto de algunas pequeñas locaciones que están en las márgenes, mientras que el AG y el ABE transcurren por toda la ciudad. Los sedimentos fueron recolectados en tres temporadas: primavera 2013-otoño 2014 (P-2013 O-2014), otoño- primavera 2017 (O-2017 P-2017), y otoño- primavera 2018 (O-2018 P-2018). Estas épocas fueron seleccionadas de acuerdo al régimen hídrico estacional de los cursos de agua. En otoño comienza el ciclo hidrológico y en primavera es la época de deshielo, donde los cursos de agua aumentan considerablemente su caudal. Por otro lado se considera la temporada 2013-2014 como previa a las mejoras y las temporadas 2017 y 2018 como posteriores a las mismas. Las muestras compuestas de sedimento superficial (primeros 5 cm) fueron recolectadas con una pala plástica a mano, y almacenadas en bolsas plásticas hasta su procesamiento en laboratorio. Fueron secadas a temperatura ambiente durante 7 días y luego tamizadas por 2, 1 y 0,5 mm. Se determinó su composición textural utilizando un analizador de partículas Malvern-Mastersizer-2000. Además, se determinaron las siguientes variables: pH en solución acuosa (mediante electrodo de pH Hanna); carbono orgánico ( $C_{org}$ ; mediante un analizador elemental en algunos casos (2013/2014), y en el resto cuantificando la materia orgánica y considerando que el C resulta ser el 58% (Cardoso-Silva et al., 2018)), nitrógeno total (N total; determinado por la técnica de micro Kjeldahl, APHA, 2005), y Fósforo Reactivo Soluble (PRS; determinado espectrofotométricamente con el método del ácido ascórbico, Bray Kurtz, 1945). Se realizaron ANOVAs para evaluar diferencias entre épocas hidrológicas (otoños vs. primaveras, entre temporadas pre y post mejoramiento en la infraestructura cloacal, y entre los sitios altos, medios y bajos para cada curso de agua. Además, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para integrar todos los datos disponibles y evaluar tendencias. Todos los análisis se llevaron a cabo con el programa Statistica 7.0.

## Resultados

El análisis granulométrico reveló que los sedimentos estudiados presentaron principalmente textura arenosa y areno-limosa (Fig. 2).

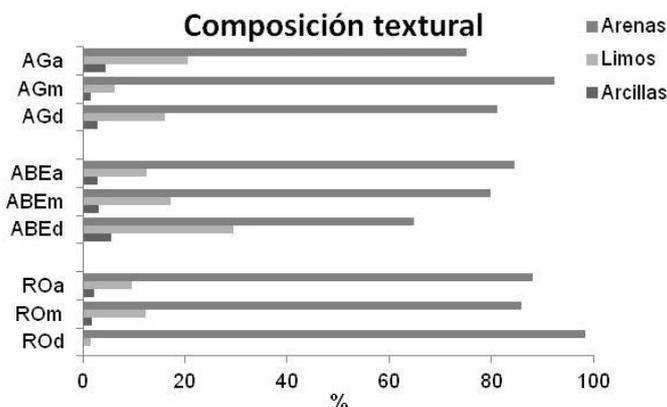


Figura 2. Composición textural promedio de los sedimentos superficiales en Arroyo Grande, Arroyo Buena Esperanza y Río Olivia. Por referencias ver texto.

Al comparar las variables en las dos épocas hidrológicas, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre sitios. Por ello se evaluaron las posibles diferencias entre temporadas pre mejoramiento (P-2013; O-2014) y post mejoramiento (O-2017; P-2017; O-2018; P-2018) en la infraestructura cloacal. Sólo se hallaron diferencias significativas en la concentración de PRS en ABE<sub>m</sub> ( $p=0,015$ ), en  $C_{org}$  y N total en RO<sub>a</sub> ( $p=0,029$  y  $p=0,044$ , respectivamente), y en N total en RO<sub>m</sub> ( $p=0,044$ ). En el caso del RO, las diferencias se dieron principalmente en el sitio más alto, las cuales se deben a una dinámica natural del bosque caducifolio circundante que aporta material vegetal anualmente, más que a un impacto antrópico puntual.

Al evaluar las diferencias entre los sitios altos, medios y bajos para cada curso de agua, se consideraron todas las fechas indistintamente de la época (Fig. 3).

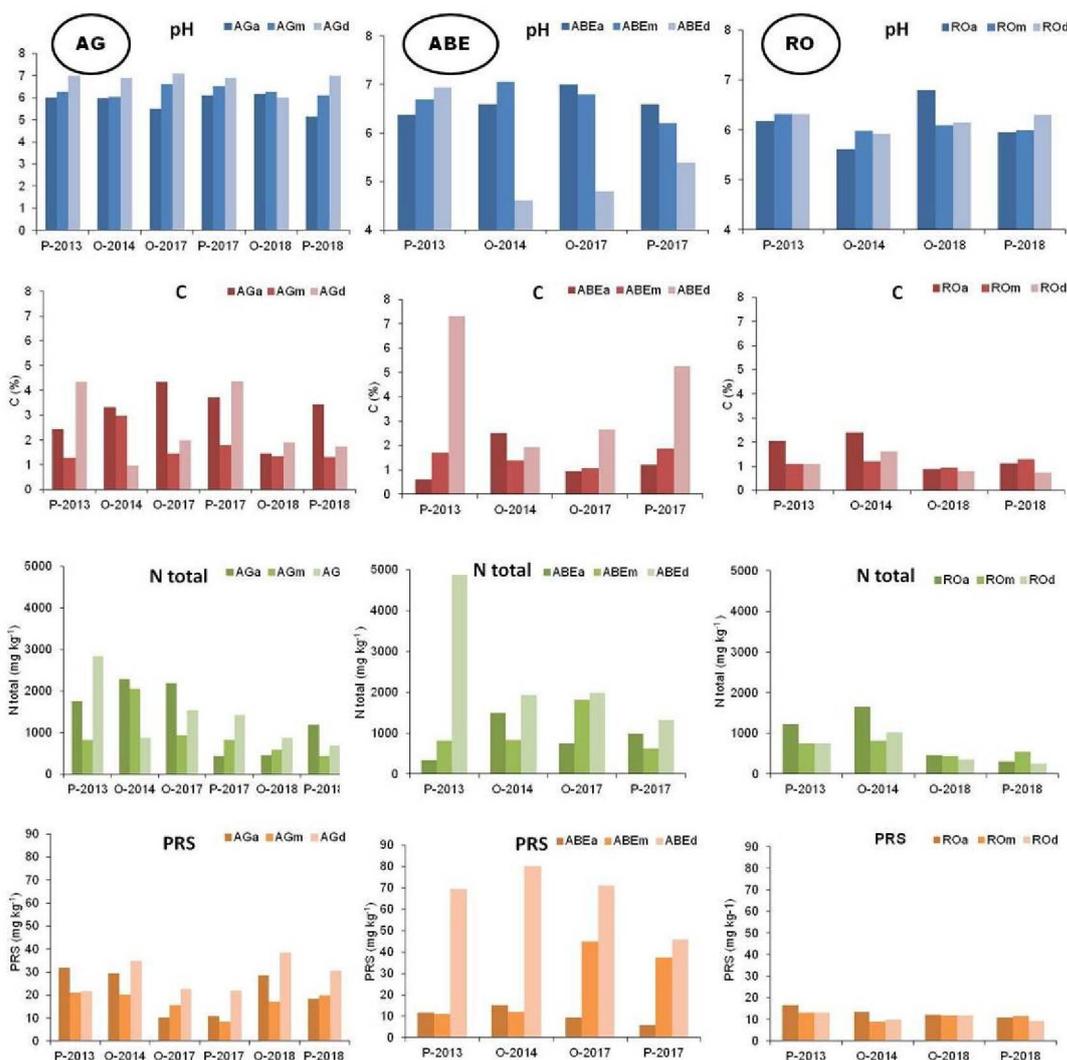


Figura 3. Valores de pH, Carbono orgánico (C), Nitrógeno total (N total) y Fósforo Reactivo Soluble (PRS) de los sedimentos superficiales en Arroyo Grande (AG), Arroyo Buena Esperanza (ABE) y Río Olivia (RO). Por referencias ver texto.

En el AG, sólo se encontraron diferencias significativas entre sitios el pH de los sedimentos ( $p=0,001$ ), el cual aumenta a medida que se desciende hacia la costa. Es notable que, a pesar de ser un sitio prístino, AG<sub>a</sub> contenga concentraciones mayores de  $C_{org}$ , N y PRS que en los sitios más bajos. En cuanto al ABE, el sitio de desembocadura presentó el pH más bajo ( $p=0,042$ ) y las mayores concentraciones de C ( $p=0,038$ ), N ( $p=0,086$ ) y PRS ( $p=0,001$ ). La acumulación de materia orgánica en los sedimentos de ABE<sub>d</sub> coinciden con los altos valores de

nitrógeno inorgánico disuelto, fosfatos, DBO y materia orgánica particulada, hallados en la columna de agua para las mismas épocas (Diodato et al., 2018), evidenciando el continuo aporte de efluentes cloacales. En el RO, no se hallaron diferencias significativas entre los sitios, manteniendo una calidad similar a lo largo de su tramo.

El ACP mostró que el 82,98% de la varianza se explica con los 2 primeros factores. Se encontraron correlaciones significativas ( $r > 0,71$ ) sólo entre C y N ( $r = 0,79$ ). Al proyectar los sitios sobre el plano, ABEd se separa del resto debido a sus altas correlaciones con el Factor 1 (Fig. 4).

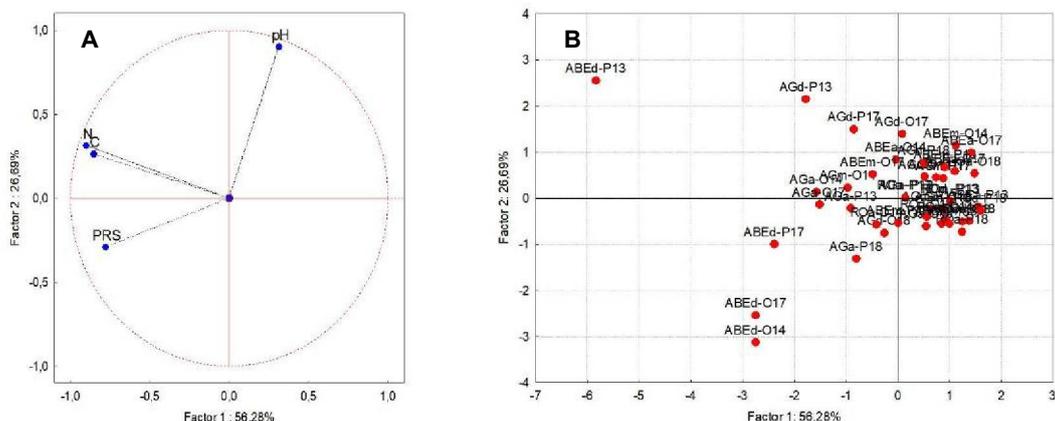


Figura 4. A. Proyección de las variables en el plano de los Factores 1 y 2. B. Proyección de los sitios y fechas de muestreo en el mismo plano. Por referencias ver texto.

## Conclusiones

A pesar de haber cesado desde fines de 2015 en gran medida el aporte continuo de material orgánico a los tramos bajos de los cursos de agua estudiados, no ha sido evidente una mejoría en la calidad de los sedimentos, en particular en los sitios AGd, ABEm y ABEd, los cuales han sido los más impactados durante los últimos años. De acuerdo a estudios complementarios, en el agua ya se observa una mejoría en la calidad de la cuenca, y, debido a que no se evidenciaron diferencias entre los momentos pre y post cese de los vuelcos, resulta necesario un tiempo más prolongado para que los sedimentos logren recuperarse.

## Bibliografía

- APHA**, 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21<sup>st</sup> ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- Bray R., y Kurtz L.**, 1945. Determination of Total Organic and Available Forms of Phosphorus in Soils. *Soil Science* 59: 39-45.
- Cardoso-Silva S., Alves de Lima Ferreira P., Lopes Figueira R., Vieira Rêgo da Silva D., Moschini-Carlos V., Pompêo M.**, 2018. Factors that control the spatial and temporal distributions of phosphorus, nitrogen, and carbon in the sediments of a tropical reservoir. *Environmental Science and Pollution Research* 25: 31776–31789.
- Diodato S.**, 2013. Respuestas de especies locales a procesos de eutrofización en la zona costera próxima a la ciudad de Ushuaia, Tierra del Fuego. Tesis Doctoral, UNS. 221p.
- Diodato S., Moretto A., Mansilla R., Escobar J., Marcovecchio J.**, 2018. Caracterización de cuencas hídricas urbanas sometidas a procesos de eutrofización cultural por vuelcos de efluentes urbanos en la ciudad de Ushuaia, Tierra del Fuego. VII Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental, San Luis, Argentina.
- López M.**, 2009. Los sedimentos y su incidencia en la eutrofización de los embalses. Caso del río Lozoya. *Ingeniería del Agua* 16 (4): 273-283.
- Oelsner G., y Stets E.**, 2019. Recent trends in nutrient and sediment loading to coastal areas of the conterminous U.S.: Insights and global context. *Science of the Total Environment* 654: 1225-1240.