



**Utilización de la Conectividad Hidrológica para  
Evaluar la Transferencia de Metales entre Sedimentos Fluviales**

Hydrologic Connectivity as a Tool for the Evaluation of Metal Transfer Between River Sediments

Paola Suárez<sup>1</sup> & Marisol Vega<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Exactas Naturales y Agrimensura, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Centro de Ecología Aplicada del Litoral Ruta Provincial, No 5, 2.5 km, 3400, Corrientes, Argentina.

<sup>2</sup>Universidad de Valladolid, Facultad de Ciencias, Departamento de Química Analítica, Campus Miguel Delibes, Paseo de Belén 7, 47011, Valladolid, España.

E-mails: paolasuarez792@gmail.com; solvega@qa.uva.es

Recibido em: 03/10/2017 Aprobado em: 06/11/2017

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2017\\_3\\_240\\_247](http://dx.doi.org/10.11137/2017_3_240_247)

### Resumen

La conectividad hidrológica, definida como la transferencia de materia, energía y/u organismos, mediada por el agua, dentro y entre los elementos del ciclo hidrológico, permite evaluar el efecto de la actividad antrópica sobre los sistemas fluviales. La transferencia de metales entre el agua y las partículas de sedimento es uno de los fenómenos más importantes que ocurren en los ríos. El presente trabajo propone una nueva dimensión en el estudio de la conectividad hidrológica, la dimensión Vertical Superficial, para comparar la concentración de metales entre sedimentos superficiales (expuestos al intercambio iónico permanente con la columna de agua) y sedimentos profundos (no influenciados por las alteraciones recientes en la superficie). El estudio se centró en el río Negro, un sistema fluvial de llanura ubicado en el nordeste argentino, que atraviesa en su tramo final un humedal natural protegido y que es uno de los tributarios más importantes del río Paraná, principal recurso hídrico de la región. El objetivo de este trabajo fue identificar variaciones en la concentración de metales mayoritarios fácilmente intercambiables en sedimentos, teniendo en cuenta la dimensión vertical superficial y la dimensión lateral (indicador de niveles base en la concentración de metales), con el fin de evaluar el efecto de la actividad humana sobre este sistema fluvial y proveer información para su correcta gestión. Se tomaron muestras de sedimentos (superficiales y profundos) del cauce y de la llanura aluvial, en cuatro puntos de muestreo seleccionados a lo largo del río. Los resultados indican que, en general, no se observaron variaciones verticales estadísticamente significativas en el contenido de metales lixiviables. En la dimensión lateral se observaron variaciones de hasta dos órdenes de magnitud en las concentraciones de metales. La mayor concentración de metales se registró en los sedimentos del cauce, en contacto permanente con la columna de agua que recibe desechos de la actividad humana, por lo que este estudio evidencia el efecto nocivo de la actividad agrícola e industrial en la historia sedimentológica del recurso hídrico estudiado.

**Palabras-clave:** sedimentos fluviales; conectividad hidrológica; metales

### Abstract

Hydrologic connectivity is the transfer of matter, energy, and/or organisms, mediated by water, within and between the elements of the hydrological cycle. These exchanges are closely related to the effect of anthropic activity on the water bodies. The transfer of metals between water and sediments is an important phenomenon in rivers. In this study, the Shallow Vertical Connectivity is proposed as a new dimension of hydrologic connectivity, allowing to compare the concentration of metals between surface sediments (exposed to permanent ion exchange with the water column) and deep sediments (not influenced by recent physical or chemical alterations at the surface). The work is focused on the Negro River, a plain river system located in the Chaco-Pampeana Plain (Northeast of Argentina) that crosses a protected natural wetland and is one important tributary of the Paraná River, the main water resource of the region. The main objective of this research was to identify variations in the concentration of easily exchangeable major metals in sediments, taking into account the shallow vertical and the lateral dimensions, in order to evaluate the effect of human activities on this fluvial system and to provide information for its correct management. The concentrations of water-exchangeable major metals were analyzed in surface and subsurface sediments, sampled from the channel and the alluvial plain at four sampling points along the river course. The results indicate that, in general, there were no statistically significant vertical variations in the leachable metal content. In the lateral dimension, concentrations of leachable metals in channel sediments were hundredfold higher than in floodplain sediments because the channel sediments are in permanent contact with the water column thus receiving polluting discharges (industry, agriculture and urban), demonstrating the harmful effect of anthropic activities on the river sedimentological history.

**Keywords:** river sediments; hydrological connectivity; metals

## 1 Introducción

Los ríos tienen un rol importante en el modelado de la superficie terrestre a través de procesos erosivos y de transporte de materiales. Así, la interacción del agua de los ríos con el terreno que atraviesan define en gran parte las características hidroquímicas y geoquímicas de los sistemas fluviales.

Ward *et al.* (1999) utilizan el término “conectividad” para hacer referencia al intercambio de nutrientes, materia orgánica y otras sustancias entre ecotonos. Así mismo, se refieren a la “conectividad hidrológica” como la transferencia de agua entre el cauce del río y la llanura de inundación y entre la superficie y el subsuelo. Varios autores han destacado que la conectividad hidrológica tiene implicaciones en los patrones de biodiversidad (Welcomme, 1979; Amoros & Roux, 1988; Schiemer & Spindler, 1989; Obrdlik & Fuchs, 1991; Gibert *et al.*, 1997; Ward, 1998; Ward *et al.*, 1999). Pringle (2001, 2003a) introduce el término conectividad hidrológica dentro del contexto ecológico para referirse a la transferencia de materia, energía y/u organismos, mediada por el agua, dentro y entre los elementos del ciclo hidrológico. El autor señala que esta conectividad hidrológica es esencial para mantener la integridad ecológica de los ecosistemas, así como para movilizar tanto nutrientes como desechos tóxicos de origen antrópico.

Ward (1989) estableció cuatro dimensiones para describir las interacciones que se desarrollan en un ambiente fluvial; una de las dimensiones tiene en cuenta la estacionalidad y la nombran “temporal”, las otras tres dimensiones se refieren a las variaciones que se dan de acuerdo al espacio y son nombradas “longitudinal”, “lateral” y “vertical”. La evaluación de estas cuatro dimensiones permitiría valorar el efecto de la actividad antrópica sobre los cuerpos de agua, así como también contribuir al desarrollo de la ecología del paisaje. Según estos autores, la conectividad longitudinal implica las variaciones desde las áreas de nacientes hasta la desembocadura de un río. Es una vinculación propuesta a través de la teoría del Continuum de Vannote *et al.* (1980) que permite una visión de los patrones de continuidad que ocurren en un río a través de los flujos aguas abajo. La conectividad vertical hace referencia a la interacción entre el cauce fluvial y el agua

subterránea. Por su parte, la conectividad lateral se refiere a las transiciones entre el cauce principal y la llanura de inundación; es un fenómeno mayormente influenciado por la estacionalidad y depende de la magnitud de las inundaciones (Amoros & Roux, 1988; Wiens, 2002). En los ríos de llanura son frecuentes los desbordes de los ríos, provocando inundaciones en las que el material transportado en suspensión se deposita en la zona lateral, generando lo que algunos autores describen como una acreción vertical (Allen, 1964; Douglas, 1977; Ritter, 1978; Ottesen *et al.*, 1989; Brown, 1996). Por tanto, a través del estudio geoquímico de los sedimentos de la llanura aluvial es posible determinar niveles base de metales de un sistema hídrico, permitiendo inferir los cambios que suceden en su interior como consecuencia de agentes externos (Ottesen *et al.*, 1989; Nanson & Croke, 1992; Bölviken *et al.*, 1996; Swennen & Van der Sluys, 1998; Swennen & Van der Sluys, 2002; Adánez *et al.*, 2009).

Complementando las dimensiones de análisis propuestas por Ward (1989) y teniendo en cuenta que los sedimentos, cuando son depositados y comienzan a formar parte del lecho superficial del río, inducen cambios cualitativos en dichos estratos, el presente trabajo propone una nueva dimensión que llamaremos Conectividad Vertical Superficial (CVS). Este análisis se fundamenta en lo expuesto por Horowitz (1991), quien señala que los sedimentos ubicados a una cierta profundidad pueden utilizarse como un registro histórico de los cambios que han tenido lugar en la cuenca, ya que no se encuentran influenciados por las recientes alteraciones físicas ni químicas de superficie. Una delgada capa superficial de sedimentos, del orden de unos 5 centímetros, es la que se encuentra involucrada en los intercambios iónicos con la columna de agua suprayacente (Lee, 1970).

Pringle (2001, 2003a, 2003b) menciona la importancia de tener en cuenta la conectividad hidrológica, sobre todo en el caso de áreas protegidas, donde la carga de contaminantes podría estar sucediendo en zonas que se encuentran fuera de su frontera. En estas situaciones los estudios de conectividad hidrológica se vuelven fundamentales para una correcta gestión de los recursos hídricos, los cuales suelen sufrir los efectos nocivos de la acción antrópica, debido principalmente a la falta de información que impide conocer el funcionamiento global del sistema.

Uno de los fenómenos más importantes que ocurren en los ríos es la transferencia de metales, tanto de origen natural como antrópico, entre la columna de agua y las partículas de sedimento. Los sedimentos fluviales actúan como reservorio de iones metálicos, incluidos elementos tóxicos, que se van depositando y acumulando desde la columna de agua y que podrían movilizarse ante un cambio brusco en las condiciones del agua por un vertido accidental o por un empeoramiento paulatino de la calidad del agua. Un cambio de este tipo puede provocar la repentina liberación de metales desde los sedimentos, con el consiguiente riesgo ecotóxico para la vida acuática.

El río Negro, en el que se ha centrado este trabajo, es uno de los tributarios más importantes del tramo medio del Río Paraná, principal recurso hídrico del Nordeste argentino. Anteriormente, Suárez *et al.* (2016) analizaron la dinámica de transferencia de metales en el río Negro e identificaron variaciones químicas, tanto en agua como en sedimentos, en la dimensión longitudinal. Los autores atribuyeron dichas variaciones a la influencia antrópica, dado que los incrementos en las concentraciones de metales son concordantes con el creciente desarrollo de la actividad humana que se observa desde las nacientes hacia su desembocadura. Señalan además la existencia de períodos de extrema sequía en la región, lo cual favorece el incremento de las concentraciones de metales en la columna de agua.

De acuerdo a los antecedentes mencionados, el objetivo del presente trabajo es evaluar la existencia de variaciones en la concentración de metales mayoritarios intercambiables de los sedimentos del río Negro en la dimensión vertical superficial y en la dimensión lateral. Los resultados aquí expuestos darán a conocer la evolución química que está ocurriendo en los sedimentos del río Negro, permitiendo analizar el efecto de la actividad humana sobre la historia sedimentológica del sistema fluvial estudiado. La información proporcionada será de ayuda para tomar decisiones orientadas a mejorar la gestión de un recurso hídrico que es la fuente más importante de agua dulce utilizada con fines agrícolas e industriales de la región y además se encuentra asociado a ecosistemas conservados.

## 2 Área de Estudio

El río Negro (Figura 1) está ubicado en la provincia geológica denominada Llanura Chaco-

Pampeana (Nordeste de la República Argentina), perteneciente a la cuenca del Plata, la principal cuenca del país. Se trata de un sistema fluvial meandroso, típico de áreas de llanura, incluido dentro de los Sistemas Hidrológicos No Típicos (Fertonani & Prendes, 1983), que reciben su aporte de las precipitaciones locales. Se encuentra expuesto a un clima subtropical atlántico húmedo. En el área de estudio, las aguas subterráneas salobres y el contenido salino propio de los suelos, junto con el déficit hídrico que ocasionalmente sufre la región, ha generado la presencia de suelos salinos y salino-alcalinos (OEA, 1975; Ledesma & Zurita, 1995). La cuenca del río Negro queda comprendida entre las isohietas de 900 mm en el extremo oeste y 1300 mm al este, cerca de su desembocadura (Morello, 1983).

A causa de la baja pendiente regional el río estudiado presenta lenta escorrentía, lo cual favorece la acumulación de los sedimentos fluviales y el activo intercambio entre la columna de agua y los sedimentos del cauce. Al mismo tiempo, las copiosas precipitaciones y la presencia de arcillas impermeables en el terreno favorecen el desarrollo de numerosos humedales. El río Negro en su tramo medio-bajo atraviesa los Humedales Chaco de 508.000 ha, designado sitio RAMSAR en 1994 (RAMSAR, 2015), los cuales sustentan una amplia diversidad biológica de importancia internacional.

Los cuatro puntos de muestreo seleccionados para este trabajo (Figura 1) se ubican en el tramo medio-bajo del río Negro y son representativos de los siguientes tramos fluviales: P1 (Localidad “Colonia Elisa”), área de cabeceras con bajo caudal, baja influencia antrópica y abundante vegetación. P2 (Localidad “La Verde”) y P3 (Localidad “Laguna Blanca”), tramo medio encauzado, con mayor caudal que el correspondiente al primer punto, baja ocupación humana y abundante vegetación durante la mayor parte del año. P4 (Resistencia), tramo distal cercano a la desembocadura del río, ubicado aguas debajo de la zona urbana, con más de dos veces el caudal encontrado en los puntos anteriores, alto impacto antrópico por vertido de efluentes domésticos e industriales (industria frigorífica y láctea) y donde la abundancia de la población vegetal varía a lo largo del año.

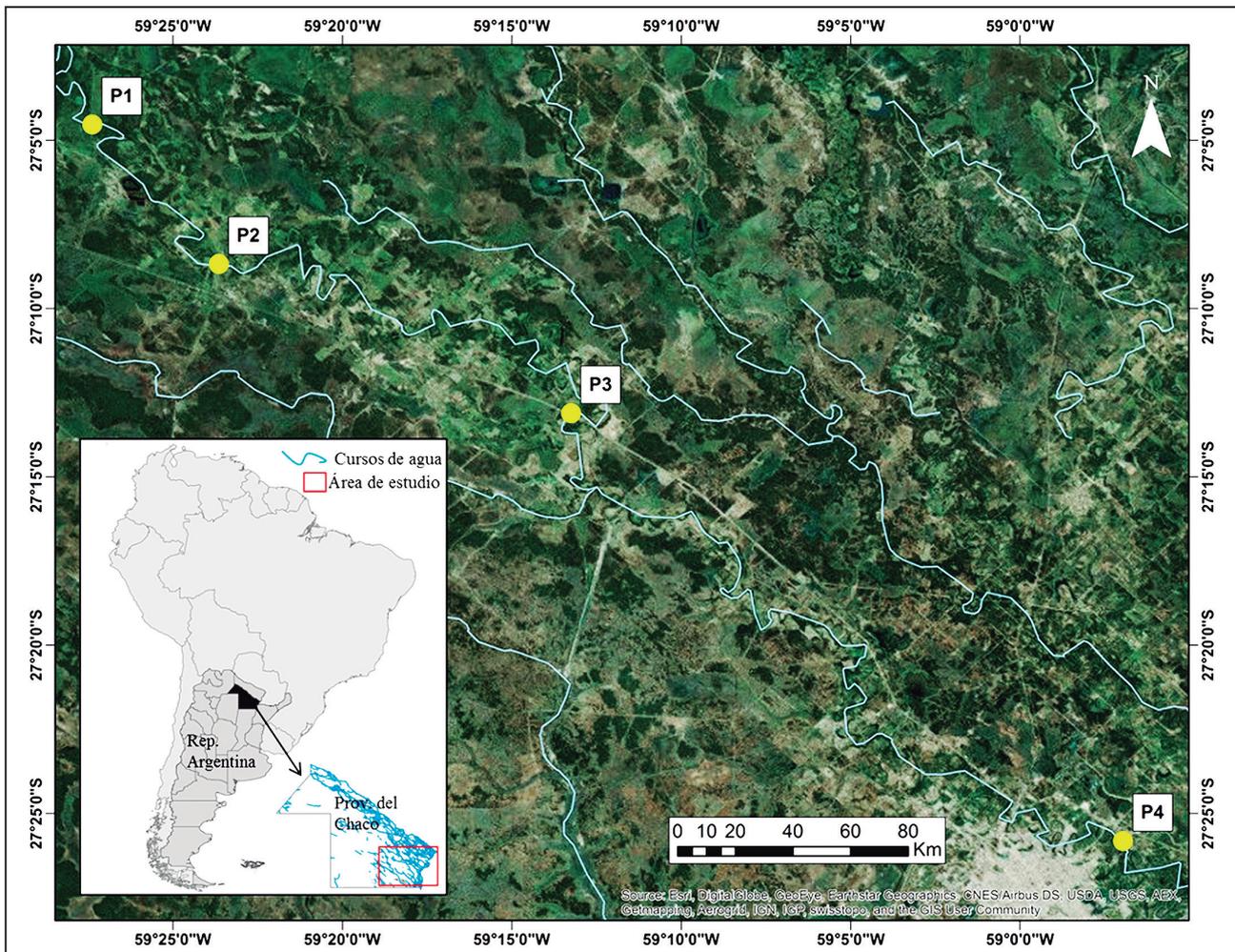


Figure 1 Mapa del área de estudio.

### 3 Materiales y Métodos

Según Horowitz (1991), las diferencias verticales en la química composicional de los sedimentos comienzan a ser visibles a partir de los 8 cm por debajo de la superficie del lecho del río. Para evaluar la concentración de metales en la dimensión vertical superficial, se tomaron muestras de sedimentos: (i) superficiales (hasta 5 cm de profundidad) y (ii) profundas (entre los 8 y 10 cm de profundidad), en los cuatro puntos de muestreo seleccionados a lo largo del cauce del río. Se extrajeron muestras a ambas profundidades en el centro y en las dos márgenes del cauce, así como en las dos orillas de la llanura aluvial, resultando un total de 40 muestras: 24 muestras de sedimentos del cauce fluvial y 16 muestras de sedimentos de la llanura aluvial. Todas las muestras se obtuvieron

con un barreno manual. Las muestras se guardaron en bolsas plásticas convenientemente rotuladas y refrigeradas para su traslado al laboratorio, donde fueron conservadas a 4° C hasta su análisis.

Para estimar la movilidad de los metales unidos a los sedimentos en condiciones naturales, se realizaron extracciones con agua destilada, siguiendo el método 1312 (USEPA, 1994). Los aniones y cationes mayoritarios presentes en los extractos acuosos fueron determinados siguiendo métodos estándar (APHA, 1999): espectrometría de absorción (Mg, Fe, Mn) y emisión (Na, K) atómicas (Varian SpectrAA300) usando llama de aire-acetileno. El calcio fue estimado a partir de los valores de dureza (volumetría). Las soluciones estándar fueron preparadas a partir de patrones certificados AccuStandard Inc. Los resultados analíticos están

referidos a peso seco de los sedimentos. Los datos experimentales fueron analizados mediante el software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2015) e IBM SPSS Statistics 23.

#### 4 Resultados y Discusión

Sobre un total de 24 muestras de los sedimentos del cauce principal del río Negro se realizó una comparación de la concentración de metales entre el material superficial (S) y los sedimentos ubicados en profundidad (P), tratados por la técnica de lixiviado y en cuyos extractos se determinaron 6 variables químicas. La Figura 2 recoge los diagramas de cajas y bigotes (*box and whisker plots*) de dichas variables. Los límites inferior y superior de la caja representan el primer y tercer cuartil, y la línea horizontal dentro de la caja simboliza la mediana. La media aritmética se ha representado con un círculo. Los bigotes se extienden hasta  $\pm 1.5$  (IQR) (rango intercuartil, que es la diferencia entre el tercer y primer cuartil) desde el correspondiente cuartil. Los valores anómalos (*outliers*) están simbolizados por un aspa. Los gráficos fueron calculados después de eliminar varios valores extremos, excesivamente distantes, que fueron considerados valores anómalos (3 valores de Fe, 1 valor de Mn y 1 valor de K).

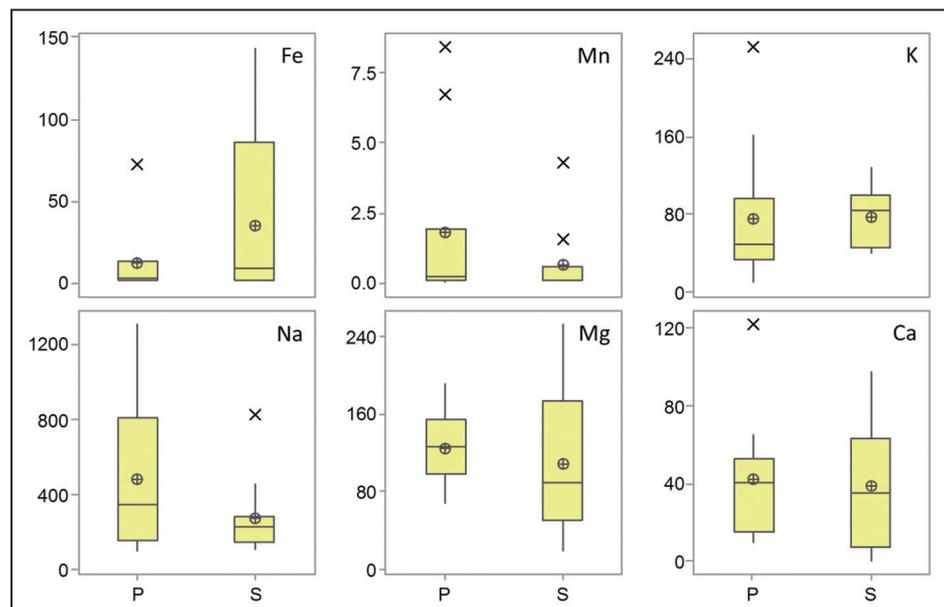
Los *diagramas box plot* recogidos en la Figura 2 muestran la distribución asimétrica que presentan los elementos analizados en casi todos los grupos de muestras, con colas hacia valores de concentración

elevados y presencia de algunos valores anómalos extremos. Esa asimetría se traduce en que, con excepción de Mg y Ca, la media es muy superior a la mediana. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada a los dos grupos de muestras confirmó que, de las variables analizadas en los extractos acuosos de los sedimentos fluviales del cauce del río Negro, solo Mg y Ca presentan una distribución normal (nivel de significación  $p > 0.05$ , ver Tabla 1).

Los diagramas también señalan que la mediana de la distribución de estos metales en sedimentos superficiales y profundos es similar, con valores en superficie generalmente mayores para Fe y K, e inferiores para el resto de metales analizados. Se observa que los rangos intercuartiles correspondientes a sedimentos superficiales y profundos, aunque de diferente longitud, se solapan en todos los casos, indicando que las diferencias entre los contenidos de metales entre la superficie y los 10 cm de profundidad son pequeñas.

La Figura 3 presenta los diagramas *box plot* de las variables analizadas en los extractos acuosos de las 16 muestras de sedimentos procedentes de la llanura de inundación del río Negro. En este caso no se dispone de datos de concentración del ion Ca pues esta fue inferior al límite de detección volumétrico (0.05 mg/kg). Los resultados indican que, a diferencia de lo observado en el cauce, los sedimentos superficiales de la llanura muestran un ligero enriquecimiento medio en los cinco metales respecto

Figura 2 Diagramas box plot de 6 metales medidos en extractos acuosos de 24 muestras de sedimentos superficiales (S) y profundos (P) del cauce. Concentraciones en mg/Kg.



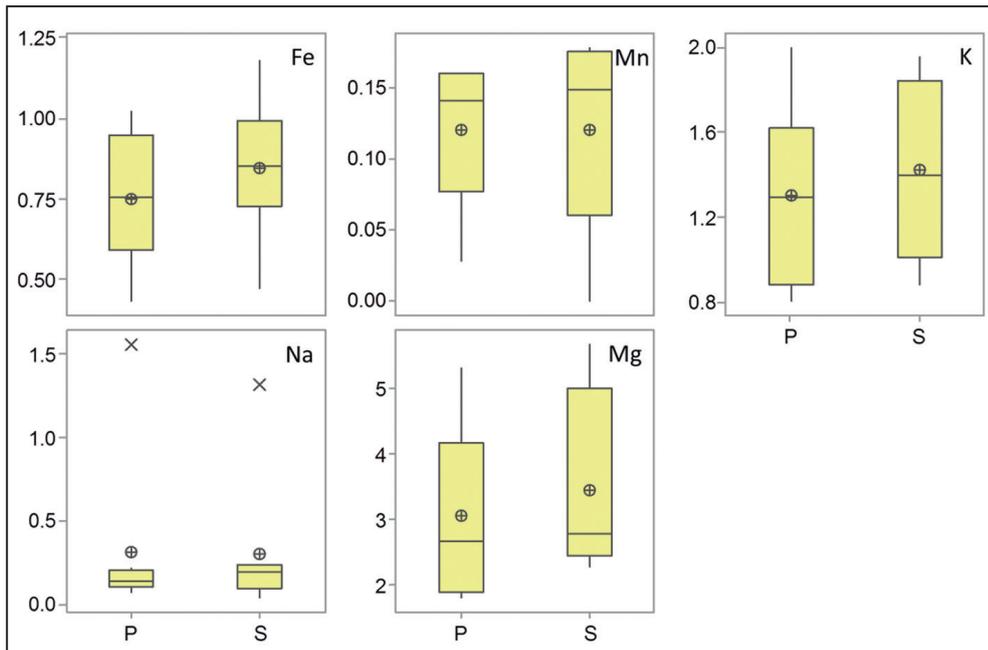


Figura 3 Diagramas box plot de 5 metales medidos en los extractos acuosos de 16 sedimentos, superficiales (S) y profundos (P), de la llanura aluvial. Concentraciones en mg/Kg.

a las concentraciones halladas a mayor profundidad, aunque las diferencias son poco acusadas pues las distribuciones de valores representadas en los *box plots* aparecen de nuevo solapadas, indicando un rango de concentraciones común para sedimentos superficiales y profundos. Aunque las distribuciones no son totalmente simétricas en torno a la mediana, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk indica que solo el sodio presenta una distribución no gaussiana (valores *p a posteriori* en Tabla 1).

Elemento	Cauce fluvial		Llanura aluvial	
	8-10 cm (n=12)	< 5 cm (n=12)	8-10 cm (n=8)	< 5 cm (n=8)
Fe	0.000	0.000	0.731	0.975
Mn	0.000	0.000	0.051	0.097
K	0.006	0.000	0.769	0.526
Na	0.035	0.001	0.000	0.000
Mg	0.711	0.346	0.218	0.033
Ca	0.044	0.404		

Tabla 1 Valores *p a posteriori* de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Distribución normal si  $p > 0.05$ .

Como ya se ha mencionado antes, los diagramas *box plot* muestran que los rangos de concentración de los elementos fácilmente extraíbles coinciden aproximadamente para sedimentos superficiales y los obtenidos a más de 8 cm de

profundidad, tanto del cauce como de la llanura de inundación. Para confirmar que las diferencias no son significativas se aplicó la prueba de significación no paramétrica U de Mann-Whitney, obteniéndose los valores de significación que se muestran en la Tabla 2, los cuales demuestran que, como ya se intuía en los diagramas box plot, no existe diferencia estadísticamente significativa (al 95% de confianza) entre las concentraciones medias de metales lixiviables en sedimentos superficiales y profundos.

Elemento	Cauce fluvial	Llanura aluvial
Fe	0.671	0.328
Mn	0.089	0.645
K	0.160	0.574
Na	0.198	0.645
Mg	0.347	0.442
Ca	0.887	

Tabla 2 Significación (valores *p a posteriori*) de la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para comparación de medianas. Diferencias significativas entre los contenidos de metales lixiviables en sedimentos superficiales y profundos si  $p < 0.05$ .

Aunque las diferencias entre los contenidos medios no son significativas, se han observado diferencias considerables en las concentraciones de algunos metales cuando se comparan los extractos acuosos de sedimentos superficiales y profundos. La prueba de significación de los rangos con signo

de Wilcoxon, aplicable a muestras relacionadas cuando la distribución de valores no es gaussiana, permite determinar si las diferencias entre pares de valores sedimento superficial-sedimento profundo son significativas. Los valores de significación *p a posteriori* resultantes se muestran en la Tabla 3, e indican la existencia de variaciones estadísticamente significativas, al 95% de confianza, únicamente para los metales Fe y Mg en el perfil vertical de los sedimentos de la llanura aluvial; las diferencias no son significativas al 99% (valores  $p > 0.01$ ) en todos demás casos. Las mismas conclusiones se obtuvieron aplicando la prueba t de Student para medidas emparejadas.

Los elevados valores de *p* señalan que las concentraciones de metales en sedimentos superficiales y profundos del río Negro, tanto del cauce como de la llanura aluvial, no presentan variaciones estadísticamente significativas remarcables. Por tanto, la variación longitudinal en la concentración de metales, observada por Suarez *et al.* (2016), no se ve reflejada hasta el momento en la dimensión vertical superficial.

Elemento	Cauce fluvial	Llanura aluvial
Fe	0.314	0.025
Mn	0.050	0.233
K	0.347	0.107
Na	0.117	0.889
Mg	0.155	0.043
Ca	0.583	

Tabla 3 Significación (valores *p a posteriori*) de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas. Diferencias significativas entre los contenidos medios de metales lixiviables en sedimentos superficiales y profundos si  $p < 0.05$ .

Al comparar las Figuras 2 y 3, surge información relevante en relación a variaciones de las concentraciones de metales en la escala de continuidad lateral, observándose que la concentración en los extractos acuosos de los sedimentos recogidos del cauce es varios órdenes de magnitud superior a la obtenida de los sedimentos de la llanura de inundación, siendo por tanto claramente diferentes. Dado que la concentración de metales analizados en estos sedimentos corresponden a la fracción fácilmente intercambiable, esta distribución en las concentraciones de metales podría deberse a activos procesos de intercambio iónico que tiene lugar entre sedimentos del cauce y la columna de

agua. Suárez et al (2016) observaron aumentos en las concentraciones de estos metales, tanto en aguas como en sedimentos del río Negro, en áreas cercanas a los grandes asentamientos poblacionales ubicados cerca de la desembocadura, por lo que fueron atribuidos principalmente a la actividad antrópica. Poi de Neiff *et al.* (2003) mencionan el fuerte efecto que tiene la actividad agropecuaria sobre el aumento de metales en la cuenca media baja del río Negro. Los fertilizantes producen aumentos en las concentraciones de metales tales como potasio, magnesio y manganeso. Por otra parte, los suelos de la cuenca del río Negro son salinos por lo que aumentos de la concentración de calcio están asociados al uso de enmiendas minerales ricas en calcio.

## 5 Conclusiones

En el presente trabajo se introduce una nueva dimensión de análisis, la “continuidad vertical superficial”, como una herramienta para evaluar las variaciones en la química de los sedimentos en un sistema fluvial de llanura, donde el intercambio iónico entre sedimentos y la columna de agua se ve fortalecido por el prolongado tiempo de permanencia del agua, resultante de la lenta escorrentía. La dimensión espacial vertical propuesta, así como la dimensión espacial lateral, fueron evaluadas en este trabajo para conocer la evolución química que tiene lugar en los sedimentos de un río de llanura con alta influencia antrópica. A través de gráficos estadísticos se observó que en el cauce del río Negro la concentración de algunos metales (Fe y K) tiende a presentar una distribución que es levemente mayor en sedimentos superficiales, tendencia que repite para todos los metales analizados en la llanura aluvial. Sin embargo, las pruebas estadísticas aplicadas posteriormente demostraron que esas diferencias no son significativas. Sin embargo, para la dimensión espacial lateral los resultados revelaron diferencias de varios órdenes de magnitud, con mayores concentraciones en los sedimentos del cauce del río Negro.

Considerando como niveles base las concentraciones de metales de la llanura aluvial, así como estudios anteriores que señalan indicios de un deterioro en la calidad de agua del río Negro, producto de la actividad humana, podemos afirmar que la información proporcionada en este estudio vislumbra que tales efectos nocivos están influyendo sobre la historia sedimentológica del cauce de este recurso hídrico. Dado que los sedimentos fluviales

actúan como reservorio de metales, los cuales podrían ser transferidos a la columna de agua ante un cambio en la composición del agua, acarreado consecuencias ecotoxicológicas graves, es necesario mejorar la gestión del recurso hídrico para revertir la situación o al menos evitar un empeoramiento de la calidad del agua y, por ende, del sedimento.

El análisis de la dimensión vertical superficial, en conjunto con el análisis de la dimensión lateral, son herramientas que se complementan satisfactoriamente cuando la finalidad es analizar posibles transferencias de metales a causa de la conectividad hidrológica. La información proporcionada por estas herramientas permite realizar mejoras en la gestión del recurso hídrico.

## 6 Referencias

- Adánez, P.; García Cortés, A. & Locutura, J. 2009. La Geoquímica en los Sedimentos de la Llanura de Inundación del Manzanares como Medio para Evaluar el Impacto Ambiental. *Boletín Geológico y Minero*, 120(1): 69-80.
- Allen, J.R.L. 1964. Studies in Fluvial Sedimentation: Six Cyclothems From the Lower Old Red Sandstone, Anglo-Welsh Basin. *Sedimentology*, 3: 163-198.
- Amoros, C. & Roux, A.L. 1988. Interactions between Water Bodies within the Floodplains of Large Rivers: Function and Development of Connectivity. In: SCHREIBER, K.F. (Ed.), *Connectivity in Landscape Ecology. Proceedings of the 2nd International Seminar of the International Association for Landscape Ecology*, Munster, 1987, Karl-Friedrich Schreiber (Hrsg.) p. 125-130.
- APHA, AWWA, WEF. 1999. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Washington, DC.
- Bølviken, B.; Bogen, J.; Demetriades, A.; De Vos, W.; Ebbing, J.; Hindel, R.; Langedal, M.; Locutura, J.; O'Connor, P.; Ottesen, R.T.; Pulkkinen, E.; Salminen, R.; Schermann, O.; Swennen, R.; Van der Sluys, J. & Volden, T. 1996. Regional Geochemical Mapping of Western Europe towards the Year 2000. *Journal of Geochemical Exploration*, 56(2): 141-166.
- Brown, A.G. 1996. Floodplain Palaeoenvironments. In: ANDERSON, M.G.; WALLING, D.E & BATES, P.D. (Eds.), *Floodplain Processes*. Chichester, Wiley, p. 94-138.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. & Robledo, C.W. InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>. Accessed 01 Jun 2017.
- Douglas, I. 1977. *Humid Landforms: An Introduction to Systematic Geomorphology*. Canberra, Australian National University Press, 288p.
- Fertonani, M. & Prendes, H. 1983. Hidrología en Áreas de Llanura: Aspectos Conceptuales, Teóricos y Metodológicos. Hidrología de Grandes Llanuras, Argentina. *UNESCO*, 1: 119-156.
- Gibert, J.; Mathieu, J. & Fournier, F. 1997. Groundwater/Surface Water Ecotones: Biological and Hydrological Interactions and Management Options. Cambridge, Cambridge University Press, 246p.
- Horowitz, A.J. 1991. *A Primer on Trace Metal-Sediment Chemistry*. U.S. Geological Survey Water-Supply, paper 2277.
- Ledesma, L.L. & Zurita, J. J. 1995. *Los suelos de la Provincia del Chaco: Argentina*. INTA (EERA Saenz Peña). Gobierno de la Provincia del Chaco Report, 164p.
- Lee, G.F. 1970. Factors Affecting the Transfer of Materials between Water and Sediments. Published as Literature Review No. 1, Eutrophication Information Program, Water Resources Center, University of Wisconsin, Madison. Disponible en <http://www.gfredlee.com/Sediment/NewFactors-Affecting-Paper-Revised.pdf> Accessed 01 Dec 2016.
- Morello, J. 1983. El gran Chaco: el proceso de expansión de la frontera agropecuaria desde el punto de vista ecológico ambiental. *CEPAL-CIFCA-Argentina*, 10: 343-396.
- Nanson, G.C. & Croke, J.C. 1992. A Genetic Classification of Floodplains. *Geomorphology*, 4(2): 459-486.
- Obrdlik, P. & Fuchs, U. 1991. Surface Water Connection and the Macrozoobenthos of Two Types of Floodplains on the Upper Rhine. *River Research and Applications*, 6(4): 279-288.
- ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS AMERICANOS (OEA) 1975. Estudio de la Cuenca Inferior del Río Bermejo. OEA-Gobierno Argentino; Tomo III, Recursos de la Tierra, 570p.
- Ottesen, R.T.; Bogen, J.; Bølviken, B. & Volden, T. 1989. Overbank Sediment: A Representative Sample Medium for Regional Geochemical Mapping. *Journal of Geochemical Exploration*, 32(1-3): 257-277.
- Poi de Neiff, A.; Patiño, C.; Neiff, J.J. & Ramos A.O. 2003. Calidad del agua en el tramo bajo del río Negro (Chaco, Argentina). *FACENA*, 19: 67-85.
- Pringle, C.M. 2001. Hydrologic Connectivity and the Management of Biological Reserves: A Global Perspective. *Ecological Applications*, 11(4): 981-998.
- Pringle, C. 2003a. The Need for a More Predictive Understanding of Hydrologic Connectivity. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 13(6): 467-471.
- Pringle C.M. 2003b. Interacting Effects of Altered Hydrology and Contaminant Transport: Emerging Ecological Patterns of Global Concern. In: HOLLAND, M.M.; BLOOD, E.R. & SHAFFER, L.R. (Eds.), *Achieving Sustainable Freshwater Systems: A Web of Connections*. Washington DC, Island Press, p. 85-107.
- RAMSAR. 2015. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Disponible en <http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=1186>. Accessed 27 May 2015.
- Ritter, D.F. 1978. *Process Geomorphology*. Iowa, W.C. Brown, 603p.
- Schiemer, F. & Spindler, T. 1989. Endangered Fish Species of the Danube River in Austria. *River Research and Applications*, 4(4):397-407.
- Suárez, P.A.; Vega, M.; Pardo, R.; Orfeo, O.; García-Cuesta, J.L. & Ronco, A. 2016. Hydrochemical and Sedimentological Dynamics in a Subtropical Plain River: Assessment by Multivariate Statistical Analysis. *Environmental Earth Sciences*, 75: 1004.
- Swennen, R. & Van der Sluys, J. 1998. Zn, Pb, Cu and As Distribution Patterns in Overbank and Medium-Order Stream Sediment Samples: Their Use in Exploration and Environmental Geochemistry. *Journal of Geochemical Exploration*, 65(1): 27-45.
- Swennen, R. & Van der Sluys, J. 2002. Anthropogenic Impact on Sediment Composition and Geochemistry in Vertical Overbank Profile of River Alluvium from Belgium and Luxembourg. *Journal of Geochemical Exploration*, 75(1-3): 93-105.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). 1994. Test method 1312: Synthetic Precipitation Leaching Procedure. SW-846 Test Methods for Evaluating Solid Waste: Physical/Chemical Methods Compendium. USEPA, Washington DC.
- Vannote R.L.; Minshall G.W.; Cummins K.W.; Sedell J.R. & Cushing C.E. 1980. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1): 130-137.
- Ward, J.V. 1998. A Running Water Perspective of Ecotones, Boundaries, and Connectivity. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 26: 1165-1168.
- Ward, J.V. 1989. The Four-Dimensional Nature of Lotic Ecosystems. *Freshwater Science*, 8(1): 2-8.
- Ward, J.V.; Tockner, K & Schiemer, F. 1999. Biodiversity of Floodplain River Ecosystems: Ecotones and Connectivity. *River Research and Applications*, 15: 125-139.
- Welcomme, R.L. 1979. *Fisheries Ecology of Floodplain Rivers*. New York, Longman Group, 317p.
- Wiens, J.A. 2002. Riverine Landscapes: Taking Landscape Ecology into the Water. *Freshwater Biology*, 47(4): 501-515.