

# TEXTURAS ARGILOMINERALES Y METALES EN SEDIMENTOS DE FONDO DE ARROYOS DE LA FRANJA COSTERA SUR DEL RÍO DE LA PLATA

Marcelo MANASSERO<sup>1</sup>, Cecilia CAMILIÓN<sup>2</sup> y Alicia RONCO<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones Geológicas, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), La Plata. E-mail: manasser@cig.museo.unlp.edu.ar

<sup>2</sup> Instituto de Geomorfología y Suelos, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata y CONICET, La Plata.

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata y CONICET, La Plata. E-mail: cima@quimica.unlp.edu.ar

## RESUMEN

Se estudiaron sedimentos de fondo extraídos en posiciones distales de los arroyos El Pescado, Cañada Arregui, Buriñigo, Juan Blanco, El Destino, Samborombón y Salado, estos dos últimos ubicados en la región más abierta del estuario del río de la Plata. Para la caracterización granulométrica (tamizado y pipeteo), mineralogía de arcillas (difracción rayos X), contenido de materia orgánica (digestión ácida en caliente, valoración titulométrica) y concentración de metales (espectrometría AA), se emplearon métodos estandarizados de laboratorio. La mayoría de los sedimentos fueron clasificados como limos arcillosos y arcillas limosas, sin embargo en el río Salado y los arroyos El Pescado y El Destino los sedimentos de fondo son más arenosos. La composición mineralógica de las arcillas indica que los sedimentos de los arroyos cuentan con una importante proporción de esmectita y caolinita, aunque manteniéndose una predominancia illítica. Significativamente, mayor proporción de caolinita está presente en los ríos Samborombón y Salado, evidenciando una importante influencia estuárica. El hierro y el manganeso son los metales mayoritarios con mayor variabilidad entre cursos. Los humedales costeros y zonas deprimidas de la costa del estuario favorecen la retención de estos dos elementos. Las altas variaciones de los contenidos reflejan diferencias fisicoquímicas en los ambientes depositacionales. El orden de abundancia del resto de los metales analizados es Zn>Pb=Cu>Cr>Ni>Cd, con concentraciones más elevadas en los de la vertiente sur del estuario, manteniendo un comportamiento similar al de los mayoritarios.

Palabras clave: *Sedimentos de fondo, metales pesados, franja costera bonaerense.*

**ABSTRACT:** *Textures, clay minerals and heavy metals in river bottom sediments from southern río de la Plata.* River bottom sediments from distal positions of El Pescado, Cañada Arregui, Buriñigo, Juan Blanco, El Destino streams, and Samborombón and Salado rivers from the southern coastal area of the río de la Plata estuary were studied. Grain size analysis, clay mineralogy (X ray diffraction), organic matter content (by acid digestion followed by tritrimetric analysis) and metal concentration (by atomic absorption spectrometry) were carried using standardized methods. Most of the analysed samples were classified as silty clays, silts and clays. In the Salado, El Pescado and El Destino water courses the bottom sediments show a greater proportion of sand. Clay mineral composition suggests that southern tributaries of the río de la Plata have a predominant illite composition with high proportions of smectite and kaolinite. Kaolinite rich litho-facies were detected in the Samborombón and Salado rivers, due to the influence of the open estuary to the South of the study area. Iron and manganese were the metals that show greater abundance and variability within the studied water courses. The physicochemical conditions influence these metal concentrations in the depositional environments. The sequence of abundance detected for the rest of the analysed metals is Zn>Pb=Cu>Cr>Ni>Cd, with higher concentrations within the area of the estuary, showing a similar pattern as the major metals.

Keywords: *Bottom sediments, heavy metals, Buenos Aires province southern coastal sector.*

## INTRODUCCIÓN

Los problemas de acumulación de metales pesados en sedimentos de cuerpos de agua superficial y suelos, regulados por procesos de sorción, han sido ampliamente estudiados por varios autores (Salomons

& Förstner 1984, Irion 1991, Macklin 1992, Frink 1996). La capacidad de retención de los metales depende, en gran medida, de la composición, área específica, proporción y tipos de arcillas, óxidos e hidróxidos de aluminio, hierro y manganeso, materia orgánica y procesos hidráulicos invo-

lucrados (Sondi *et al.* 1994). La distribución espacial de estos metales en los sedimentos de fondo resulta de especial interés porque trabajos recientes han demostrado que estos pueden ser liberados nuevamente al ambiente, en proporciones que llegan al 62 % del contenido total re-

gistrado inicialmente (Olivares-Riemont *et al.* 2005, Salibián 2006, Hatje *et al.* 2008).

En el caso de la región de la ribera sur del gran La Plata, la actividad antrópica produce importante contaminación tanto en el compartimiento aire, como en los suelos y cuencas hídricas. En los arroyos se detecta la descarga de efluentes líquidos, a las que se suman los desechos cloacales sin tratamiento en cauces de agua superficial, junto a fuentes no puntuales que incorporan diverso tipo de carga contaminante (Catoggio 1991, Giménez *et al.*, 1991, Kreimer *et al.* 1996, Ronco *et al.* 1995, 2001, 2007, 2008, Camilión *et al.* 1996, 2003, Manassero *et al.* 1998, 2004, 2008, Hurtado *et al.* 2006).

La llanura costera es un sitio muy plano, con pendientes regionales menores al 0,1 %, con pequeños montículos que no superan los 2 metros de altura relativa y numerosos bañados o áreas de escurrimiento centrípeto, con redes de drenaje anárquicas y pobremente desarrolladas. El relevamiento de los sitios críticos en las cuencas y el conocimiento de los patrones de distribución geográfica de la carga contaminante proveen información fundamental, no sólo para prácticas de prevención de mayores daños ambientales, sino también para la planificación de acciones de remediación viables.

En el presente trabajo se describe, además de los aspectos mineralógicos y sedimentológicos de la región, un análisis del contenido de metales pesados en posiciones distales equivalentes de las cuencas y en sedimentos de fondo de los Arroyos El Pescado, Zapata, Cañada Arregui, Buriñigo, Blanco y El Destino y los ríos Samborombón y Salado, de la franja costera sur del río de la Plata (Fig. 1). Se correlaciona además el nivel de metales con la composición de arcillas presentes, el contenido de materia orgánica y de óxidos de hierro y manganeso.

## RASGOS GEOLÓGICOS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

El río de La Plata es un ambiente fluvio-

estuárico (Cavallotto y Violante 2005) con características geológicas y del subsuelo complejas, vinculadas a la historia tectónica de la cuenca del Salado a partir del fracturamiento del Gondwana. Su configuración geomorfológica actual es producto de los eventos geológicos ocurridos durante el Cuaternario, especialmente durante los últimos 18.000 años con la instalación de un ambiente estuárico y la progradación de llanuras costeras y deltas.

Dentro de su planicie costera, todos los arroyos de la Pampa Ondulada desaguan desde el oeste hacia el este, en el río de la Plata y la bahía de Samborombón con flujo de tipo permanente (Fig. 1). La zona topográfica más alta alcanza los 30 m y la pendiente regional es cercana al 0.2%. Las secciones medias y superiores de estas cuencas están compuestas por limos y arenas de edad pleistocena, conocidas como Formación Pampiano (Fidalgo y Martínez 1983, Cavallotto 2002, Cavallotto y Violante 2005, Martínez *et al.* 2006) sobre las que se depositan arenas eólicas (Formación La Postretera). Los procesos de infiltración predominan en áreas de pobre desarrollo de red de drenaje, mientras que en los sectores medios, la pendiente aumenta y los sistemas fluviales muestran terrazas de hasta un metro de altitud. Los limos fluviales de la Formación Luján afloran en estos valles. En los sectores cercanos a la desembocadura, la planicie costera que se desarrolla hacia el este a partir de un quiebre de pendiente en la cota de 5 m, está compuesta principalmente por limos y arcillas marinas de edad holocena conocida como Formación Las Escobas. Esta unidad comprende sedimentos finos estuáricos correspondientes a una transgresión marina holocena. También, dentro del área de estudio hay varias unidades marinas y continentales asociadas a distintos paleosuelos. El nivel freático está a muy poca profundidad, y puede llegar a aflorar durante largos períodos. Todas las cuencas estudiadas muestran un diseño en planta rectangular. Por ejemplo, la del arroyo El Pescado, de características intermedias, posee un área de 211 km<sup>2</sup> y una longitud de 36 km, con un sector de infiltración asociado a zonas deprimidas

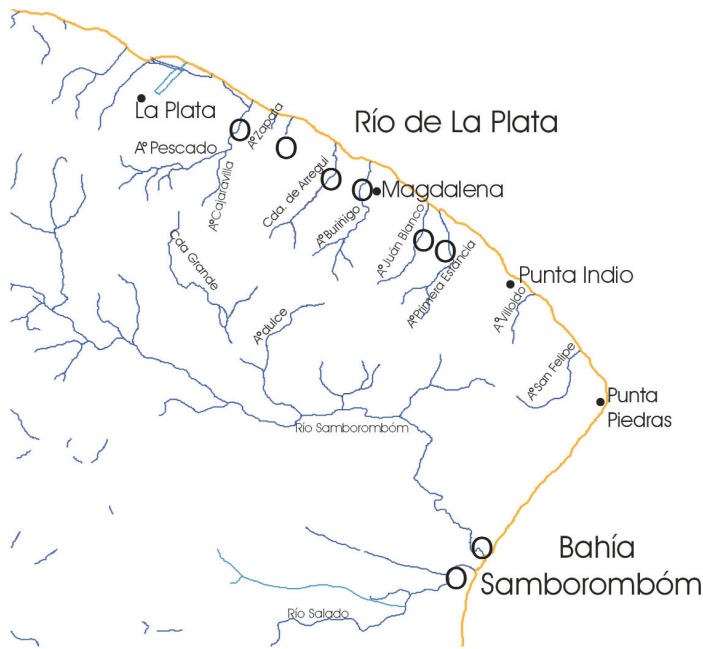
(Fig. 1), esta cuenca atraviesa la llanura costera sin la necesidad de la construcción de canales artificiales, como es el caso de los arroyos ubicados inmediatamente al norte. Los cursos de agua Samborombón y Salado, constituyen un caso especial ya que poseen un área de drenaje mucho más extensa que los arroyos mencionados.

## MÉTODOS

### Metodología de muestreo y análisis físicos y químicos

Los sitios de muestreo se ubican en la planicie costera como se aprecia en la figura 1. Las muestras de sedimentos fueron obtenidas con tubos plásticos de 4 cm de diámetro, en ambos márgenes de los cursos de agua, obteniéndose una recuperación de hasta 20 cm. Los testigos fueron secados y divididos en trozos de acuerdo a características macroscópicas tales como color, granulometría, laminación y estratificación. El estudio de la granulometría se llevó a cabo por medio de tamizado y pipeteo y el contenido de materia orgánica se determinó por oxidación química, con remoción previa del cemento (Black 1965). La caracterización mineralógica de las arcillas (muestras normales, glicoladas y calcinadas) fue estudiada por microscopía óptica y por difracción de rayos X (Moore and Reynolds 1997).

Los análisis químicos se realizaron por medio de metodologías estandarizadas. La determinación de cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel y zinc se realizó por espectrofotometría de absorción atómica previa digestión ácida de las muestras, utilizando muestra total (USEPA 1986, APHA, 1998). Se determinaron parámetros físicos y químicos sobre un total de 34 muestras (Cuadro 1), dos pertenecientes a arroyo El Pescado, cuatro para cada uno de los arroyos Zapata, Cañada de Arregui, Buriñigo, Blanco, y Salado y seis para cada arroyo Destino, y Samborombón. El contenido de metales y su relación con la sedimentología de las muestras fueron analizados teniendo en cuenta dos estratos: uno superior entre la interfase agua-sedimento y los primeros 10 cm de profundi-



**Figura 1:** Área de estudio, sitios de muestreo y esquema geomorfológico.

rombón) o a la fracción limo (Zapata, Buriñigo, Blanco, Destino).

Los contenidos de materia orgánica en la planicie costera, alcanzan valores de hasta 8% (Fig. 3). Un valor anormalmente alto se detectó en los arroyos Blanco y El Destino asociado a sectores topográficamente más deprimidos, ya que estos arroyos conservan zonas con alta proporción de vegetación arbórea y plantas acuáticas en humedal. Los resultados del análisis granulométrico en la mayoría de las muestras indican niveles de concentración de arcillas mayores a 50 %. Estos mayores contenidos se encuentran asociados al sustrato, que en nuestro caso es la unidad geomorfológica de la planicie costera, de edad holocena. La illita es el argilomineral más abundante en todas las cuencas (entre un 20 y 40% referido a la fracción granulométrica de arcillas), con un incremento hacia la zona interior. Aguas abajo se observa un incremento en la proporción de esmectita (entre un 30 y 50% referido a la fracción granulométrica de arcillas), asociable a la composición del Postpampeano y a una mayor influencia del río de la Plata.

Las asociaciones de argilominerales presentes (Fig. 4) se vinculan a distintas fuentes. La illita (30 a 50 %) es aportada al Pampeano (Formaciones Buenos Aires y Ensenada) desde la Cordillera Andina y movilizada por acción eólica y fluvial durante el Cuaternario hacia la región costera (González Bonorino, 1966, Iriondo, 1997). La esmectita (20 a 50 %) es típica del material de origen marino depositado durante la transgresión del Holoceno de la planicie costera, además de materiales continentales del Pampeano superior. Junto con la caolinita (5 a 35 %), son argilominerales característicos de la Cuenca del Plata (Camilión *et al.* 2003, Ronco *et al.* 2007). La caolinita es llamativamente dominante en los ríos del sector sur, debido a la importante influencia estuárica (Fig. 1). Considerando una tasa de sedimentación de 0,3 a 0,5 cm por año similar a la de algunas lagunas bonaerense, se puede estimar que la máxima acumulación de los sedimentos muestreados ha tenido lugar durante los últimos 100 años.

**CUADRO 1:** Niveles de concentración de metales de la región en ambientes acuáticos relacionados, tomados de la literatura. Las concentraciones se dan en mg/kg.

	Planicie estuárica del río de la Plata(1)	Estuario mesotidal de Bahía Blanca(2)	Arroyos franja costera sur(3)	Arroyo Juan Blanco(4)
Cr	60-90	2-11	10-90	2,5
Ni	-	-	3-36	7,1
Cu	36-60	3,5-21	10-140	15,8
Zn	83-130	20-65	5-720	69,9
Cd	1	1-2,5	0,5-2	1,0
Pb	23-54	8-20	0,5-220	37,3
Fe	-	10.000-30.000	10.000-50.000	24.301
Mn	-	-	1.000-2.000	1.458

\*(1) Villar *et al.* (1999); (2) Marcovecchio y Ferrer (2005), (3) Ronco *et al.* (2007); (4) Ronco *et al.* (2008).

dad, y otro inferior, desde los 10 cm hasta la base de cada testigo. Esta diferenciación de la profundidad fue adoptada teniendo en cuenta las características de las muestras en trabajo previos correspondientes a arroyos de la franja costera (Ronco *et al.* 2001; Camilión *et al.* 2003).

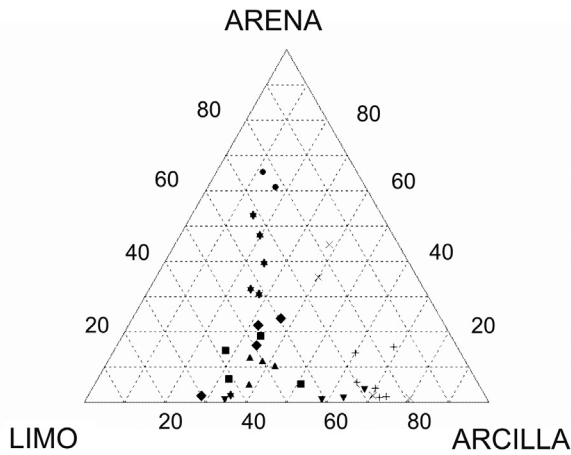
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Textura, contenido de materia orgánica y mineralogía de arcillas

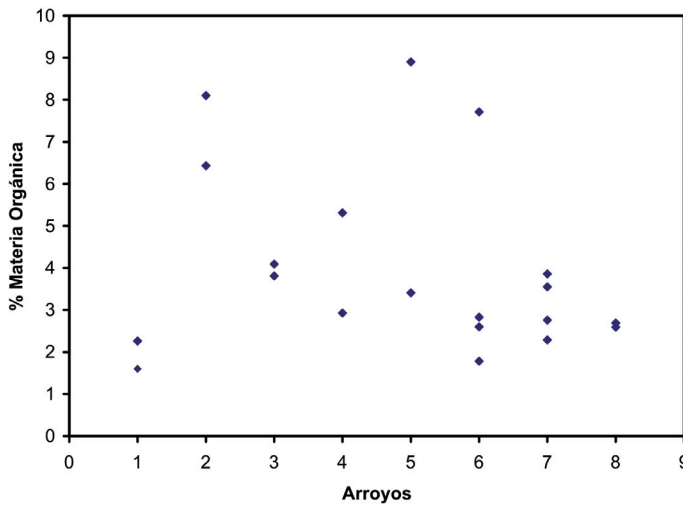
Las muestras analizadas son principalmente limos arcillosos y arcillas limosas, con algunas diferencias en los arroyos El Pescado y Destino y en el río Salado, donde se verifica un mayor aporte arenoso superior a 30 % (Fig. 2), en este caso la selección es típicamente menor, debido a la mez-

cla de aportes del material arcillo-limoso de cabeceras y el material arenoso aportado por el sistema del río de La Plata por deriva litoral y procesos de transporte típicos del ambiente estuárico. El Samborombón, en cambio, presenta más del 60 % de arcilla, hecho vinculado al sitio de muestreo ubicado dentro de la zona de su amplia bahía donde predominan los procesos de transporte de suspensión y decantación por sobre los de tracción.

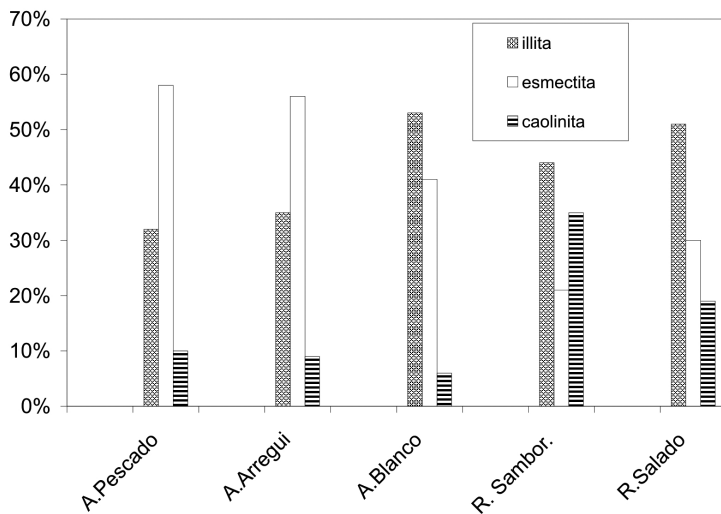
En los histogramas están siempre representadas las tres sub-poblaciones de tracción, saltación y suspensión están siempre representadas, con percentil 1 que puede llegar al tamaño de arena mediana como en el caso de los arroyos El Pescado, Destino o Buriñigo. La mediana puede corresponder a la fracción arcilla (Salado, Sambo-



**Figura 2:** Diagrama triangular arena-limo-arcilla. Clave: El Pescado-círculo, Zapata-triángulo, Arregui-triángulo invertido, Buriñigo-cuadrado, Blanco-diamante, Destino-estrella, Samborombon-cruz y Salado-X.



**Figura 3:** Contenido de materia orgánica (en % p/p) en los sitios de muestreo de los arroyos estudiados. Arroyos: El Pescado (1), Zapata (2), Cañada Arregui (3), Buriñigo (4), Blanco (5), Estancia El Destino (6), Samborombón (7), Salado (8).



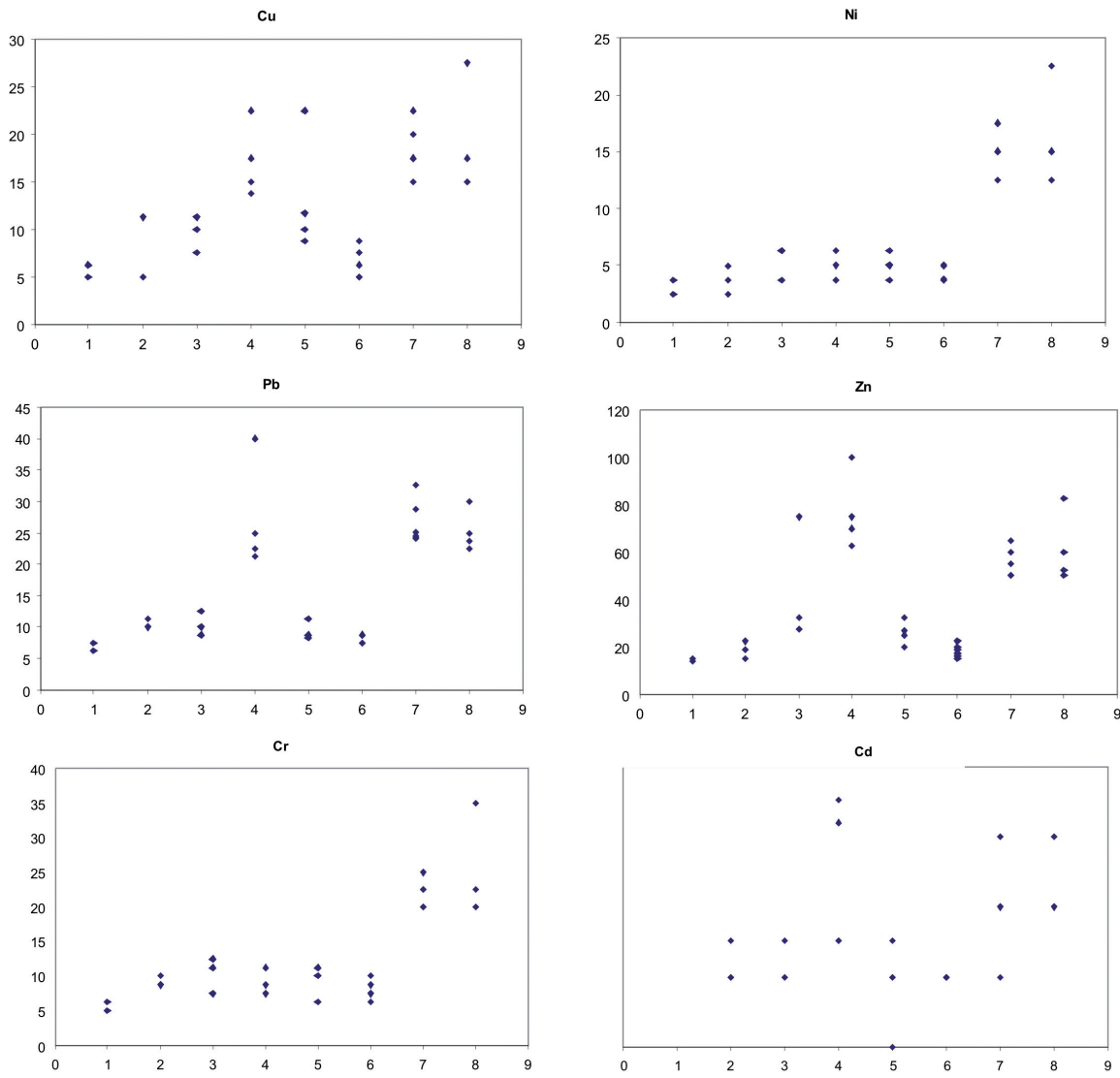
**Figura 4:** Distribución de argilominerales en las muestras analizadas.

**Geoquímica**

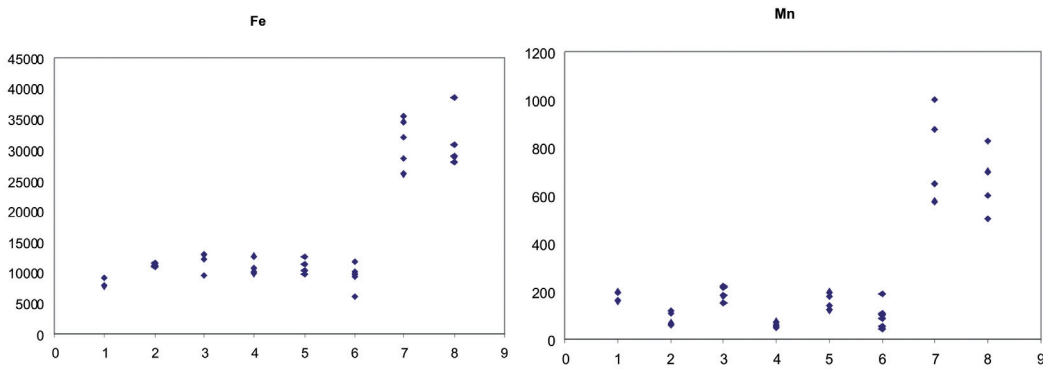
El análisis de los resultados obtenidos del contenido de metales pesados se realiza sobre la base de datos crudos. La distribu-

ción de las medias de las concentraciones en las capas superiores e inferiores (límite 10 cm de profundidad) permite realizar las siguientes observaciones para cada metal.

La concentración del cromo (Fig. 5) en los sectores distales de las cuencas muestra una tendencia al incremento (concentraciones de al menos tres veces superiores) en los ríos Samborombón y Salado, con un promedio de 22,7 mg/kg, especialmente dentro de la capa superior. Las concentraciones medidas superan aproximadamente 4 veces a las detectadas en el arroyo El Pescado. La concentración de níquel (Fig. 5) es baja, alcanzando un máximo de 22,5 mg/kg en el Samborombón y el Salado, superando aproximadamente 5 veces a las detectadas en el arroyo El Pescado. Todos los arroyos presentan una concentración relativamente homogénea de cobre (Fig. 5), siendo además similares a las detectadas en la parte superficial de suelos aledaños (Camilión *et al.* 2003). Los niveles más elevados de este metal se determinaron en el arroyo Buriñigo y en los ríos Samborombón y Salado, con un promedio de 18,5 mg/kg y tenores máximos de hasta 30 mg/kg. El zinc muestra una tendencia similar a la distribución del cobre (Fig. 5), aunque alcanzando mayores concentraciones en el arroyo Buriñigo con hasta 100 mg/kg. En forma similar, los ríos Salado y Samborombón alcanzan una concentración promedio de 57,5 mg/Kg (Cuadro 1), triplicando a los niveles de fondo regional de 10-20 mg/kg encontrados en los demás arroyos. Los niveles de concentración de cadmio (Fig. 5) son mayoritariamente inferiores a 1 mg/kg, con una ligera tendencia al incremento en los cursos de agua del sector sur, particularmente en el arroyo Buriñigo. El plomo (Fig. 5), muestra una distribución similar a las observadas para el cobre y el zinc. Los contenidos promedian los 10 mg/kg para las cuencas estudiadas, alcanzándose niveles máximos de 40 mg/kg en el Arroyo Buriñigo. La distribución del hierro y el manganeso (Fig. 6) es muy variable en las cuencas estudiadas. Generalmente los contenidos de estos metales son menores en los arroyos, tendiendo a aumentar en los ríos Samborombón y Salado. En estos últimos se incrementan entre tres y cuatro veces respecto al resto de los sitios estudiados. La mayor variabilidad en el contenido de Fe



**Figura 5:** Concentración de Cu-Ni-Pb-Zn-Cr-Cd en sedimentos de fondo de la región costera sur del río de la Plata. Arroyos: El Pescado (1), Zapata (2), Cañada Arregui (3), Buriñigo (4), Blanco (5), El Destino (6), Samborombón (7), Salado (8). Datos en mg/kg de sedimento seco, con promedios para niveles superior (hasta 10 cm) e inferior (más de 10 cm). Nótese que la escala vertical de concentración de metal no es igual en cada gráfico, dependiendo del intervalo de concentración del mismo.



**Figura 6:** Concentración de Fe y Mn en sedimentos de fondo de la región costera sur del Río de la Plata. Arroyos: El Pescado (1), Zapata (2), Cañada Arregui (3), Buriñigo (4), Blanco (5), El Destino (6), Samborombón (7), Salado (8). Datos en mg/kg de sedimento seco) con promedios para niveles superior (hasta 10 cm) e inferior (más de 10 cm). Nótese que la escala vertical de concentración de metal no es igual en cada gráfico, dependiendo del intervalo de concentración del mismo.

podría asociarse a las características de los procesos redox en suelos de la zona interior, en los que se movilizan tanto el Fe como el Mn, siendo transportados hacia el estuario, donde se producen procesos de precipitación

al encontrarse con aguas más oxigenadas que ingresan durante las sudestadas. El cuadro 1 resume información de datos de concentración de metales en arroyos de la planicie costera del río de la Plata,

además de la planicie estuárica de este último y del estuario de Bahía Blanca, para su comparación con los niveles determinados en el presente estudio. Ronco *et al.* (2007 y 2008) brindan valores del conte-

nido de metales en sedimentos de fondo de arroyos de la franja costera sur y Villar *et al.* (1999) para la planicie costera del río de la Plata. Los contenidos de todos los metales (excepto los del Cu) son mayores en este ambiente estuárico, en comparación a las muestras netamente fluviales como las pertenecientes al río Paraná y de su planicie de inundación. En la planicie costera estuárica mesotidal de Bahía Blanca, Marcovecchio y Ferrer (2005) también brindan valores de los metales estudiados en esta contribución. Si bien los mismos responden a condiciones estuáricas con influencias marinas y con amplitudes de marea muy distintas, los datos resultan de interés para su comparación con los vinculados al río de la Plata, puesto que brindan valores de concentración de estos metales del mismo orden de magnitud de los niveles de fondo naturales.

## CONCLUSIONES

La mayoría de los sedimentos pertenecientes a los arroyos estudiados pueden ser clasificados como limos arcillosos y arcillas limosas en el Salado, El Pescado y El Destino el sedimento de fondo es más arenoso. La composición mineralógica de las arcillas muestra dominancia de illita con una importante proporción de esmectita y caolinita. Esta composición se vincula con el material parental de los materiales geológico que componen el sustrato. Una mayor proporción de caolinita está presente en los ríos Samborombón y Salado, evidenciando, en cambio, una importante influencia estuárica. El hierro es el metal mayoritario con mayor variabilidad entre cursos, con significativa mayor abundancia en estos dos ríos. El manganeso presenta una tendencia similar. Los humedales costeros y zonas costeras deprimidas favorecen la retención de estos dos elementos. El orden de abundancia del resto de los metales analizados es  $Zn > Pb = Cu > Cr > Ni > Cd$ , con concentraciones más elevadas en los de la vertiente sur del estuario, en un comportamiento similar a los mayoritarios. En líneas generales, los sedimentos estudiados muestran un incremento en el

contenido de estos metales en el arroyo Buriñigo y en los ríos Samborombón y Salado, indicando la relevancia que las fracciones coloidales tienen en la distribución de los metales en los cuerpos de agua estudiados.

El relieve cóncavo de la planicie estuárica en el sector sur del área de estudio, con un alto contenido de óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso (fenómeno especialmente visible en los ríos Samborombón y Salado), la abundancia y los tipos de arcilla y una relativa abundancia de materia orgánica son elementos de control importantes en la concentración espacial de estos metales.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de Verónica Iribar por la asistencia en los análisis químicos de metales en laboratorio, a Mario Da Silva por análisis granulométrico de muestras y a Nicolás Notarángelo por tareas de soporte técnico. Un especial agradecimiento a la Dra. Rita Tófaló por la valiosa lectura crítica y detallada del manuscrito. Los trabajos se realizaron con financiamiento de ANPCYT PICT38350 y CONICET PIP5092.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- APHA, AWWA, WEF 1998. Standard Methods for examination of water and wastewater. 20th Edition. American Public Health Association, 1155 p., Washington.
- Black, C.A. 1965. Physical and mineralogical properties including statistics of measurements and sampling. En Black, C.A. (ed.) Methods of soil analysis. Part I. American Society of Agronomy, 770 p., Wisconsin.
- Camiión, M., Hurtado, M., Roca, A. y da Silva M. 1996. Niveles de Cu, Pb and Zn en Molisoles, Alfisoles y Vertisoles platenses, Provincia de Buenos Aires, Argentina. 13° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Software Gráfico Comércio e Servicios Ltda., CD-ROM, 2:16, Aguas de Lindoia.
- Camiión, C., Manassero, M., Hurtado, M. y Ronco, A. 2003. Copper, Lead and Zinc distribution in soils and sediments of the South-Western coast of the Rio de la Plata estuary, Argentina. *Journal of Soils and Sediments*, Scientific Journals 3(3):213-220.
- Catoggio, J.A. 1991. Contaminación del Agua. Causas de la contaminación de Aguas superficiales y subterráneas. En Fundación Jorge E. Roulet y Fundación Nauman (ed.) Latinoamérica, Medio Ambiente y Desarrollo. Instituto de Estudios e Investigaciones sobre el Medio Ambiente, 352 p., Buenos Aires.
- Cavallotto, J.L. 2002. Evolución holocena de la llanura costera del margen sur del Río de la Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 57(4): 376-388.
- Cavallotto J. y Violante, R. 2005. Geología y Geomorfología del Río de La Plata. En E. Barrio, R.O. Etcheverry, M.F. Caballé y E. Llambías (eds.) Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. 16° Congreso Geológico Argentino, Relatorio 14: 237-254, La Plata.
- Fidalgo, F. y Martínez, O. 1983. Algunas características geomorfológicas dentro del Partido de La Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 37: 263-279.
- Frink, C.R. 1996. A Perspective on Metals in Soils. *Journal of Soil Contamination* 5: 329-359.
- Giménez, J., Cabral, M., Hurtado, M., y da Silva, M. 1991. Estudio de suelos del Partido de La Plata. Primera etapa: sector noroeste. En Consejo Federal de Inversiones (ed.), 389 p., Buenos Aires.
- Gonzalez Bonorino, F. 1966. Soil clay mineralogy of the Pampa Plains, Argentina. *Sedimentary Petrology* 36: 1026-1035.
- Hatje V., Barros, F., Agalhaes, A., Riatto, V., Amorin, F., Figueiredo, M., Spanó, S., y Cirano, M. 2008. Trace metals and benthic macrofauna distributions in Camamu Bay, Brazil: Sediment quality prior oil and gas exploration. *Marine Pollution Bulletin* 56: 348-379.
- Hurtado, M.A. Giménez, J.E. y Cabral, M.G. 2006. Análisis ambiental del partido de La Plata. Aportes al ordenamiento territorial. Consejo Federal de Inversiones. 124 p., La Plata.
- Irion, G. 1991. Mineral in Rivers. En E. Degens, F. Kempe y J. Richey (eds.) Biogeochemistry of major world rivers. SCOPE 42, 356 p., New York.
- Iriondo, M. 1997. Models of deposition of Loess y Loessoids in the Upper Quaternary of South America. *Journal of South American Earth Sciences* 10: 71-79.
- Kreimer, E.D., Palacios, D.E. y Ronco, A. 1996. A proposal for dredging contaminated sediments

- at the Dock Sud Port, Argentina. Proceedings of the International Conference on Coastal Environments, 435-444, Buenos Aires.
- Macklin, M. 1992. Metal pollution of soils y sediments: a geographical perspective. En Newson M.D. (ed.) *Managing the human impact, Patterns and Processes*. 173-195, London.
- Manassero, M., Camilión, C. y Ronco, A. 1998. Sedimentología y geoquímica de metales pesados en sedimentos de fondo de arroyos de la vertiente del Río de La Plata, Provincia de Buenos Aires. 7° Reunión Argentina de Sedimentología, Actas: 69-79, Salta.
- Manassero, M., Camilión, C. y Ronco, A. 2004. Análisis textural de sedimentos fluviales distales de arroyos de la Pampa Ondulada, Pcia de Bs As. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología* 11(2): 57-69.
- Manassero, M., Bulas Rossini, G., Sayavedra, I., da Silva, M. y Ronco, A. 2008. Características texturales, mineralogía de arcillas y distribución de metales en sedimentos de fondo de tributarios de la margen occidental del Paraná inferior y sur del Río de La Plata. 5° Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental, Resumen Cd-ROM, Mar del Plata.
- Marcovecchio, J. y Ferrer, L. 2005. Distribution and Geochemical Partitioning of Heavy Metals in Sediments of the Bahía Blanca Estuary, Argentina, *Journal of Coastal Research* 21(4): 826-834.
- Martínez, O., Hurtado, M. y Jiménez, J. 2006. Caracterización ambiental de los humedales costeros del Río de La Plata, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de Geociencias* 5(1): 55-64.
- Moore, D.M y Reynolds, R. 1997. X-Ray Diffraction and the identification and analysis of Clay Minerals. Oxford University Press, 378 p., New York.
- Olivares-Rieumont, S., de la Rosa, D., Lima, L., Gram D., D'Alessandro, K., Borroto, J., Martínez, F., y Sanchez, J. 2005. Assesment of heavy metal levels in Almendares River sediments- Havana City, Cuba. *Water Research* 39: 3945-3953.
- Ronco, A., Sobrero, C., Bulus Rossini, G. y Alzuet, P. 1995. Screening for sediment toxicity in the Río Santiago Basin: a baseline study. *Environmental Toxicology and Water Quality* 10:35-39.
- Ronco, A., Camilión, C. y Manassero, M. 2001. Geochemistry of Heavy Metals in bottom sediments of Streams from the Río de La Plata Estuary, Argentina, *Journal of Environmental Geochemistry and Health* 23:89-103.
- Ronco, A., Camilión, C. y Manassero, M. 2007. Metal occurrence and textural-compositional properties in stream bottom sediment of the Pampa Ondulada Argentina, *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 14:65-87.
- Ronco, A., Peluso, L., Jurado, M., Bulus Rossini, G. y Salibián, A. 2008. Screening of sediment pollution in tributaries from the southwestern coast of the Río de la Plata stuary. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 15(1): 67-74.
- Salibián, E. 2006. Ecotoxicological Assessment of the highly polluted Reconquista River of Argentina. *Reviews Environmental Contamination and Toxicology* 185:35-65.
- Solomons, W. y Forsner, U. 1984. *Metals in the hydrocycle*. Springer Verlag, 349 p., New York.
- Sondi, Y., Juracic, M., Prohic, E. y Pravdic, V. 1994. Particulates and the Environmental Capacity for Trace Metals. A small river as a model for land-sea transfer system: The Rasa River estuary. *The Science of the Total Environment* 155: 173-185.
- US EPA 1986. Method 3050 Acid digestion of sediments, sludges and soils, SW-846. United States Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington DC.
- Villar, C., Stripeikis, J., Tudino, M., d' Huicque, L., Troccoli, O. y Bonetto, C. 1999. Trace metal concentrations in coastal marshes of the Lower Paraná River and the Río de la Plata Estuary. *Hydrobiologia* 397: 187-195.

Recibido: 22 de septiembre, 2009

Aceptado: 12 de mayo, 2010