

METALES, HIDROCARBUROS TOTALES DEL PETRÓLEO E HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS EN AGUA Y SEDIMENTO DE ARROYOS URBANOS DE LA PCIA. DE BUENOS AIRES

Elordi M. Lucila¹, Orte Marcos A.¹; Colman Lerner J. Esteban²y Porta, A. Andrés¹

En este estudio se monitorearon seis estaciones correspondientes a los arroyos Las Piedras y San Francisco ubicadas en el partido de Quilmes, Pcia. Buenos Aires. Si bien en las muestras de agua de ambos arroyos se observó un aumento paulatino en la concentración de Hidrocarburos totales del petróleo (HTPs) aguas abajo hacia la confluencia, siendo este punto el que superó ampliamente el nivel guía establecido por la Autoridad del Agua (≤ 30 ppm), en los sedimentos el patrón de concentración fue diferente. Aunque todos los puntos muestreados superaron el valor de referencia, el mayor nivel de HTPs correspondió a la estación SF3. Respecto a los metales (Cd, Cu, Pb y Cr), en las muestras de agua se hallaron concentraciones inferiores a las estipuladas por los valores guía mientras que en el sedimento de ambos arroyos y en la confluencia particularmente, los niveles superaron ampliamente a los establecidos internacionalmente para preservar la vida acuática. Estos resultados evidencian el deterioro progresivo, e incluso histórico, aguas abajo que ambos cuerpos de agua padecen. Considerando la potencialidad carcinogénica de los contaminantes encontrados y la alta densidad poblacional que rodea a estos arroyos, resultaría de suma importancia la intervención inmediata por parte de las autoridades responsables.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico, el crecimiento poblacional y la industrialización son factores que contribuyen a que ingresen al ambiente, de manera continua un gran número de sustancias tóxicas, dichos contaminantes tóxicos son aquellas formas de materia que exceden las concentraciones naturales en un sistema y causa impactos negativos en el medio ambiente [1], entre estos contaminantes tenemos los pesticidas, aceites y grasas, hidrocarburos y metales pesados entre otros [2].

Muchos de los contaminantes que ingresan a un cuerpo de agua superficial, por vía natural o antropogénica, quedan retenidos en los sedimentos que se depositan en el fondo del cauce, causando efectos tóxicos sobre los sistemas acuáticos [3, 4]. Estos depósitos tienen un gran valor científico para el estudio de estos ecosistemas, pues conservan un registro histórico del tipo de contaminación que ha tenido lugar, y al interactuar con las corrientes de agua ponen en circulación los contaminantes retenidos, alterando la dinámica general de la masa de agua [5]. Así, variaciones de pH, salinidad y de las propiedades redox de las corrientes de agua pueden provocar movilización y resuspensión de especies químicas acumuladas en los sedimentos, magnificando incluso su efecto tóxico, tal como es el caso de los metales pesados [6].

¹Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Dpto. Química, Fac. Cs. Exactas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. lucilaelordi@quimica.unlp.edu.ar, aaporta@yahoo.com.ar

²Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas (CINDECA, CCT CONICET La Plata- FCE UNLP), 47 e/ 1 y 115, La Plata, 1900, Argentina. jecolman@hotmail.com.

Metales

Los metales pesados son elementos químicos, constituyentes naturales de la corteza terrestre, de rocas, suelos, sedimentos, erupciones volcánicas y del agua. Sin embargo el papel que el hombre ha desempeñado en la presencia ambiental de metales es por una parte, introducir en el medio ambiente estos elementos como consecuencia de las distintas actividades humanas como desechos domésticos, agrícolas e industriales, y constituyen un peligro para la biota acuática y el ser humano, así como un factor de deterioro ambiental [7].

Estos elementos se acumulan principalmente en los sedimentos superficiales de los ríos, arroyos, aunque pueden encontrarse concentraciones relativamente elevadas a una profundidad de 15 cm y guardan una estrecha relación con el tamaño de las partículas que constituyen el sedimento (limo, arcilla y arena) y con la cantidad de materia orgánica sedimentaria, alterando el equilibrio ecológico y biogeoquímico del ecosistema [8]. Por consiguiente, suelos y sedimentos actúan como reservorios de elementos biodisponibles que pueden dar lugar a bioacumulación de los mismos en la cadena alimentaria e inducir por tanto a perturbaciones en el ecosistema y provocar efectos adversos en la salud.

En la actualidad está totalmente aceptado que la toxicidad y movilidad de los metales pesados depende principalmente de su forma química y de cómo están ligados o unidos a la matriz sólida. La idea básica es que cuando quedan fijados por los sedimentos su impacto medioambiental se reduce. La movilidad de los metales pesados en muestras medioambientales sólidas, depende de diversos factores que afectan a la forma y fuerza de la asociación metal-sólido, tales como el tipo de sedimento y el contenido en materia orgánica entre otros [9].

Los metales pesados han sido identificados como contaminantes de los más peligrosos en ecosistemas acuáticos debido a su persistencia y elevada toxicidad, los de mayor importancia toxicológica y ecotoxicológica son: Hg, As, Cr, Pb, Cd, Ni y Zn [10]. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables.

Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP)

Los hidrocarburos son uno de los agentes contaminantes de mayor preocupación en la actualidad, debido a que constituyen la principal fuente de energía en la sociedad moderna; provienen de la combustión de la gasolina, petróleo, carbón y/o gas natural. Consisten en diferentes compuestos, cuya estructura base corresponde a enlaces carbono-carbono y más aún la mayoría de éstos, contienen exclusivamente carbono e hidrógeno [11]. La contaminación de las aguas superficiales por hidrocarburos es un hecho que ocurre con relativa frecuencia. Estas pueden presentarse de dos formas generales: puntuales y sistemáticas. Las primeras ocurren de manera fortuita en los cuerpos de agua donde generalmente no hay presencia de hidrocarburos. Las segundas son habituales y caracterizan a aquellas aguas que son contaminadas por la actividad antrópica que en ellas se realiza. Por otro lado, las fuentes de la

contaminación pueden ser simples o múltiples, y verter al medio uno o varios componentes del petróleo.

El estudio de este tipo de contaminaciones puede alcanzar una gran complejidad, determinada ésta por la naturaleza de la contaminación, los métodos de análisis empleados y la manera en que se proceda en la ejecución del estudio [12].

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)

Los HAPs han estado presentes como contaminantes desde los inicios de la vida del hombre, ya que son compuestos naturales presentes en el ambiente. Sin embargo, el crecimiento industrial genera un aumento constante de un gran número y variedad de contaminantes en el entorno natural, entre ellos los HAPs [13]. Los HAPs se encuentran entre los compuestos más tóxicos para la vida y, por tanto, entre las listas de mayor interés para instituciones internacionales como el Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas (PNUMA) o la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se estima que cerca de 228.000 toneladas de estos compuestos de origen antrópico son vertidos cada año a los ecosistemas acuáticos.

La presencia de los HAPs en el ambiente puede deberse a diversas fuentes, tanto naturales como antropogénicas. Generalmente, los HAPs son producidos por combustión que puede ser natural (incendios forestales) o antropogénicos (combustión en automóviles). Algunos son de fabricación específica, como el naftaleno empleado como insecticida, pero su producción está en descenso al ser sustituido por compuestos clorados. Existe una gran variedad de fuentes naturales de HAPs, entre ellas principalmente los incendios forestales y la actividad volcánica. La aportación de estos focos es difícil de estimar, debido a la naturaleza esporádica de los mismos. Las principales fuentes antropogénicas de mayor contribución a la presencia de HAPs en el entorno son en orden decreciente de importancia: procesos industriales, calefacciones domésticas, fuentes móviles de emisión (transportes), incineradoras, plantas de generación eléctrica y mediante la biosíntesis directa originada por microbios y plantas [14].

El objetivo de este trabajo fue determinar las concentraciones de Metales, Hidrocarburos totales del petróleo e Hidrocarburos aromáticos policíclicos en agua y sedimento de dos arroyos urbanos de la Pcia. de Buenos Aires, los cuales actúan como sumidero de efluentes domiciliarios, pluviales e industriales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de Estudio

Los arroyos Las Piedras y San Francisco son cuerpos de agua que atraviesan una amplia zona del sur del conurbano bonaerense. Forman parte de la cuenca Sur del arroyo Santo Domingo, el cual desemboca en el Río de La Plata (Figura 1) y abarcan un área aproximada de 150 Km² con una extensión de 23 Km. Ambos recorren parte de los partidos de Avellaneda, Quilmes,

¹Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Dpto. Química, Fac. Cs. Exactas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. lucilaelordi@quimica.unlp.edu.ar, aaporta@yahoo.com.ar

²Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas (CINDECA, CCT CONICET La Plata- FCE UNLP), 47 e/ 1 y 115, La Plata, 1900, Argentina. jecolman@hotmail.com.

Florencio Varela y Almirante Brown. Específicamente en este trabajo, se estudió el área de los arroyos que afecta alrededor de 600.000 personas en el partido de Quilmes; en esta zona se localiza el eje de crecimiento de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) sobre la margen derecha del estuario del Río de la Plata y a 17 Km del centro de la Ciudad de Buenos Aires.

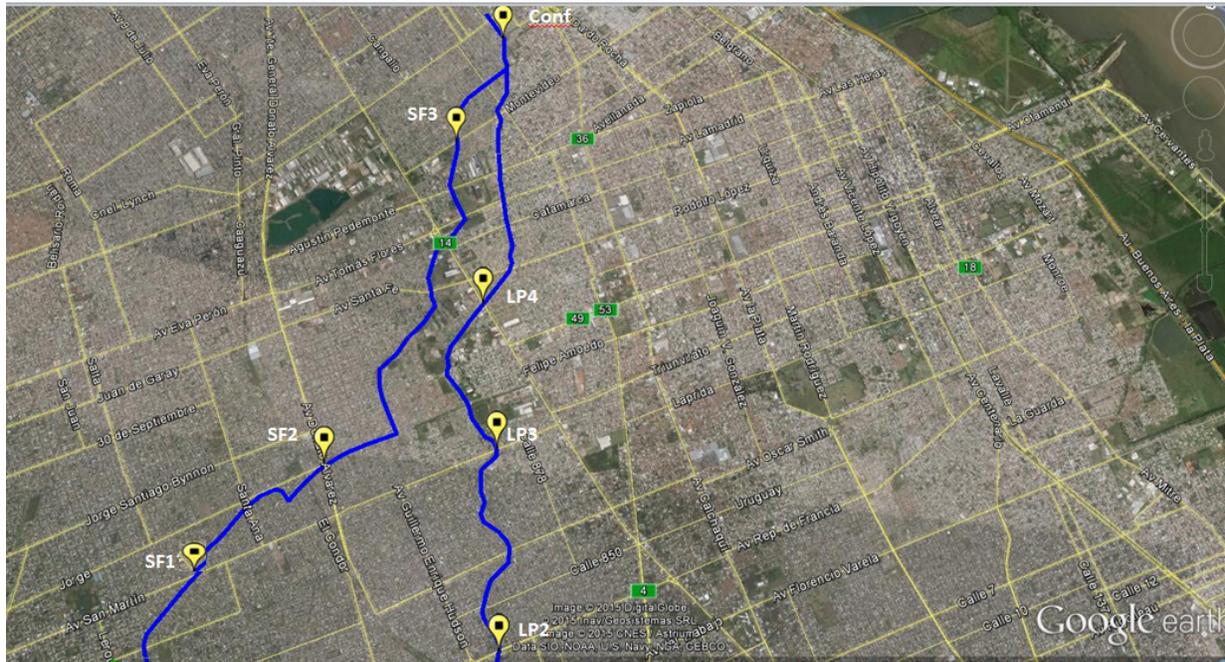


Figura 1. Mapa de la cuenca Sur del arroyo Santo Domingo con sus arroyos afluentes Las Piedras (derecha) y San Francisco (izquierda) en el partido de Quilmes, pcia. Bs. As, Argentina.

2.2. Metodología

Se colectaron muestras de agua de ambos arroyos en un total de siete estaciones de muestreo (LP2, LP3, LP4, SF1', SF2, SF3 y CONF). Las muestras de sedimento fueron tomadas con una draga van Veen (Fig.2) de 0,05 m² de superficie operativa y un peso aproximado de 3 kg. Todas las muestras se extrajeron entre las 9:00 y 14:00 h y se mantuvieron refrigeradas a 4-6 °C hasta el momento de su procesamiento.



Figura 2: draga van Veen



Figura 3. Arroyo Las Piedras y Cno. Gral. Belgrano, Bernal (LP4).

¹Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Dpto. Química, Fac. Cs. Exactas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. lucilaelordi@quimica.unlp.edu.ar, aaporta@yahoo.com.ar

²Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas (CINDECA, CCT CONICET La Plata- FCE UNLP), 47 e/ 1 y 115, La Plata, 1900, Argentina. jecolman@hotmail.com.



Figura 4. Arroyo San Francisco y Av. Montevideo, Bernal (SF3).

Para la determinación de metales pesados (Cadmio, Cobre, Cromo y Plomo) las muestras se digirieron en medio HNO_3 en sistema de digestión acelerada por microondas (CEM Mars 6) y posteriormente fueron analizadas en un espectrómetro de absorción atómica llama aire-acetileno (Shimadzu AA-7000).

La determinación de Hidrocarburos totales de petróleo (HTPs) en las muestras se realizó mediante extracción con cloruro de metileno (J. Baker, calidad cromatográfica) y posteriormente se llevó a cabo su análisis mediante cromatografía gaseosa, CG-FID Agilent 6890N, columna capilar SPB-5 (60mts x 0,25mm x 0,25 μm).

El análisis de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) se realizó por cromatografía líquida de alta resolución (UHPLC Nexera, Shimadzu) con detectores de PDA (arreglo de diodos) y fluorescencia, analizándose acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, benzo[ghi]perileno, benzo[a]pireno, criseno, dibenzo[a,h]antraceno, fluoranteno, fluoreno, indeno [1,2,3-cd]pireno, naftaleno, fenantreno y pireno. Las condiciones cromatográficas fueron las siguientes: Columna C18 (Zorbax Eclipse PAH 100mm x 4.6mm, 3.5 μm). Las muestras previamente se extrajeron con Hexano (J. Baker,

calidad cromatográfica) asistido con baño ultrasónico, llevadas a sequedad y posterior agregado de 1,00 de acetonitrilo (J. Baker, calidad HPLC) antes de analizar.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según los resultados obtenidos respecto a la determinación de metales podemos observar que en las muestras de agua la concentración medida resultó por debajo del límite de detección para cada uno de ellos (cadmio, cobre, cromo y plomo). Sin embargo, las muestras de sedimento en general mostraron concentraciones alarmantes en ambos arroyos con valores que van desde $0,81\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Cd-SF1') a $738\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Cd-SF3), los cuales se pueden observar en la siguiente tabla (Tabla 1):

Tabla 1. Concentración ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) de los diferentes metales medidos en el sedimento de los arroyos Las Piedras (LP2 y LP4), San Francisco (SF1', SF2 y SF3) y Confluencia.

Estación	Cd	Cu	Pb	Cr
LP2	144,22	170,52	56,8	23,35
LP4	427,65	140,2	84,13	116,27
SF1'	0,81	77,44	27,43	17,02
SF2	0,99	284,55	239,55	31,18
SF3	738,94	200,24	102,37	166,36
Conf	618	433,6	306,56	216,26
Nivel Guía CCME (mg.Kg⁻¹)	0,6	35,7	35	37,3

Observando la Figura 5 correspondiente al arroyo Las Piedras, se puede apreciar que tanto las concentraciones de cadmio como de cromo y plomo siguen una tendencia que va en aumento desde el primer punto de muestreo (LP2) hacia el último aguas abajo (Confluencia). Con respecto al cobre no se observan prácticamente diferencias entre LP2 y LP4. Vale aclarar que no se pudieron tomar muestras de sedimento en el punto LP3.

Los valores de cadmio observados son los más elevados llegando a alcanzar su máxima concentración en la confluencia con un valor de $618\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

¹Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Dpto. Química, Fac. Cs. Exactas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. lucilaelordi@quimica.unlp.edu.ar, aaporta@yahoo.com.ar

²Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas (CINDECA, CCT CONICET La Plata- FCE UNLP), 47 e/ 1 y 115, La Plata, 1900, Argentina. jecolman@hotmail.com.

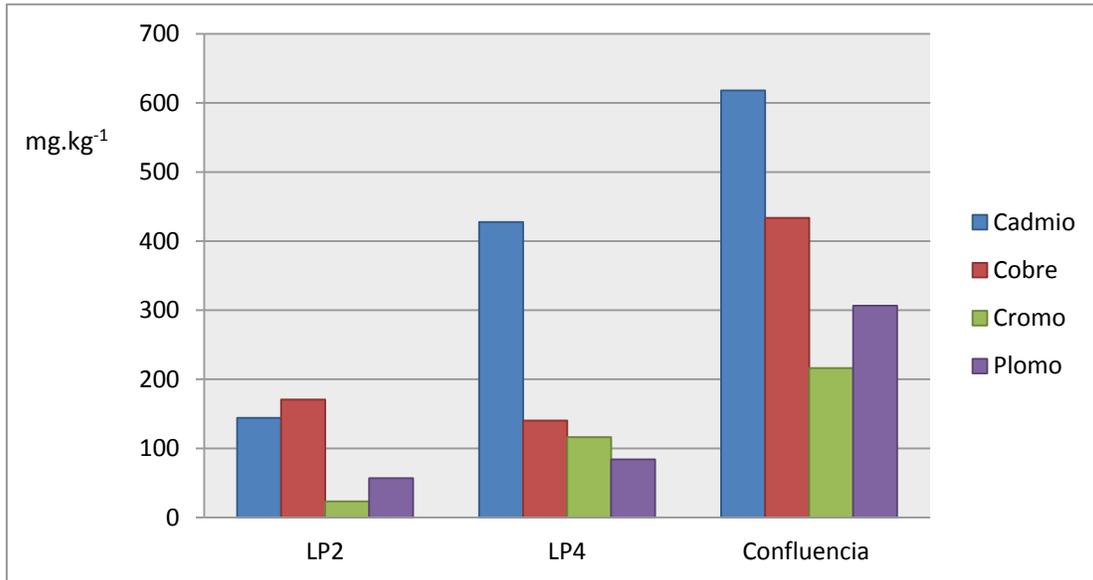


Figura 5. Distribución de la concentración de los metales medidos en el sedimento del arroyo Las Piedras.

La situación en el arroyo San Francisco no difiere demasiado en cuanto a que la concentración de todos los metales analizados, cadmio, cobre, plomo y cromo, se encuentra por encima de los niveles guía estipulados por la CCME[15]:0,6 ; 35,7;35 y37,3mg.Kg⁻¹ respectivamente.

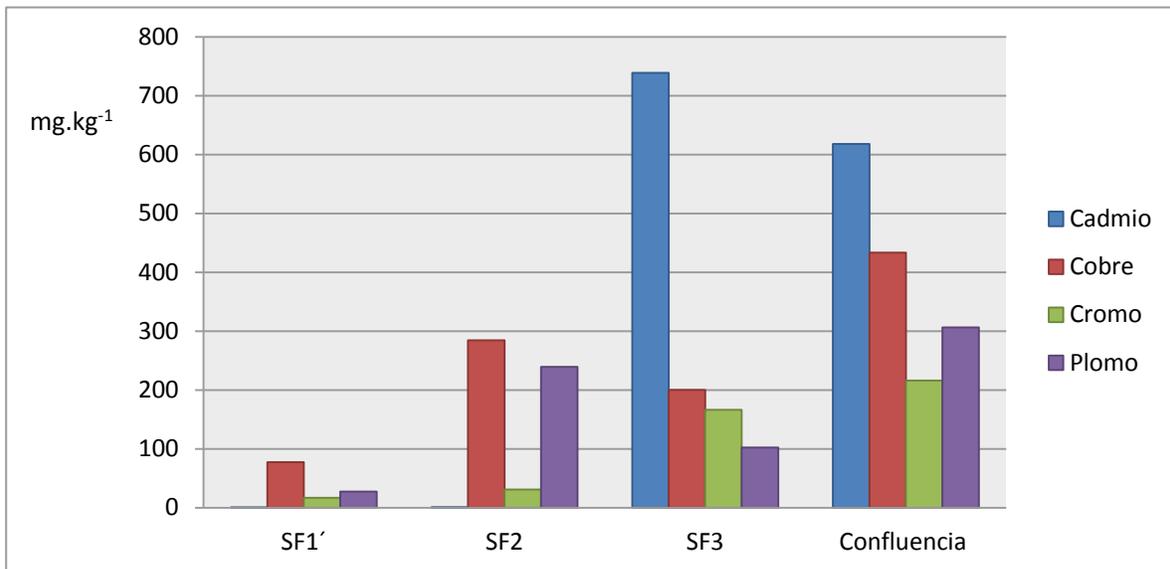


Figura 6. Distribución de la concentración de los metales medidos en el sedimento del arroyo San Francisco.

Sin embargo podemos observar en la Figura 6 que los niveles de cadmio aguas arriba son muy inferiores respecto a los del arroyo Las Piedras, aunque en el sitio SF3 se observa un pico de concentración máxima superior a los 700 mg.Kg⁻¹. Este sitio de muestreo se caracteriza por la presencia de industrias que históricamente han aportado y continúan aportando metales pesados; entre ellas se encuentran químicas industriales, frigoríficos, graseras, entre otras.

Tanto la concentración de cobre como de plomo mostraron fluctuaciones presentando un aumento de la misma en los puntos SF2 y CONF, y una disminución en el sitio SF3. En cuanto a los valores de cromo se observa una tendencia creciente hacia la confluencia de los arroyos.

Con respecto a los valores obtenidos sobre la concentración de hidrocarburos totales del petróleo en la siguiente tabla (Tabla 2) se puede observar que las muestras de agua de ambos arroyos presentan valores inferiores al límite de descarga a cuerpos de agua superficiales, establecido por la Autoridad del Agua Res. 336/2003 (≤ 30 ppm) [16]. Sin embargo, el sitio Conf muestra una concentración de HTPs en agua que supera en más de 40 veces el nivel guía señalado anteriormente.

Tabla 2. Valores de Hidrocarburos (mg kg⁻¹) Totales del Petróleo en agua y sedimento de los arroyos Las Piedras y San Francisco.

Estación	Agua (mg/L)	Sedimento	
		Húmedo	Seco
LP1	1,86	79,5	191,0
LP2	2,72	163,1	589,0
LP3	2,75	S/D	S/D
LP4	3,16	160,0	321,2
SF1	2,25	99,2	184,3
SF2	2,55	209,2	345,8
SF3	2,28	182,2	1310,9
Conf	1256,27	74,2	291,9

S/D Sin dato

En el caso de los sedimentos se puede observar que en ambos arroyos y en todos los sitios de muestreo la concentración de HTPs supera ampliamente el valor máximo establecido por la

¹Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Dpto. Química, Fac. Cs. Exactas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. lucilaelordi@quimica.unlp.edu.ar, aaporta@yahoo.com.ar

²Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas (CINDECA, CCT CONICET La Plata- FCE UNLP), 47 e/ 1 y 115, La Plata, 1900, Argentina. jecolman@hotmail.com.

UNESCO en 1976, [17] de 70 mgkg^{-1} en materia seca, siendo particularmente elevada la concentración en el sitio SF3 ($1310,9 \text{ mgkg}^{-1}$).

Sólo en las muestras de sedimento se determinó la concentración de los 16 HAPs considerados contaminantes prioritarios según la USEPA [18]: naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo (a) antraceno, criseno, benzo (b) fluoranteno, benzo (k) fluoranteno, benzo (a) pireno, dibenzo (a,h) antraceno, benzo (g,h,i) perileno, indeno (1,2,3-c,d) pireno.

Los niveles de los 16 HAPs considerados, resultaron por debajo del límite de detección LD en todas las muestras de sedimento de ambos arroyos. Sin embargo, cabe destacar que el sitio Conf presentó los siguientes valores (Tabla 3):

Tabla 3. Valores de HAPs en el sedimento de la confluencia de los arroyos Las Piedras y San Francisco.

Compuesto	Conf	LDM(mgkg^{-1})
Naftaleno	<44,56	44,56
Acenaftileno	<45,83	45,83
Acenafteno	<49,71	49,71
Fluoreno	<8,18	8,18
Fenantreno	<2,79	2,79
Antraceno	<4,65	4,65
Fluoranteno	<0,15	0,15
Pireno	<2,34	2,34
Benzo(a)antraceno	5,39	0,06
Criseno	7,25	1,90
Benzo(b)fluoranteno	6,94	0,08
Benzo(k)fluoranteno	3,23	0,06
Benzo(a)pireno	4,76	0,20
Dibenzo(a,h)antraceno	2,38	0,52
Benzo(g,h,i)perileno	8,20	0,32
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	6,48	2,95

Es importante mencionar que el Benzo(a)pireno que se encuentra en una concentración tal (4,7650) que no es despreciable, es un hidrocarburo policíclico aromático potencialmente carcinógeno que se forma durante la combustión incompleta o pirólisis de materia orgánica.

Estas sustancias se encuentran en aire, agua, suelos y sedimentos, por lo general a nivel de trazas excepto cerca sus fuentes.

4. CONCLUSIONES

Este trabajo pone de manifiesto un potencial y grave problema ambiental, derivado del alto contenido de metales pesados presentes en los sedimentos de los arroyos Las Piedras y San Francisco. Respalda además los resultados obtenidos por *Elordi et al.*, 2013 [19] sobre la pobre calidad microbiológica y físico-química de sus aguas, a las cuales más de 250.000 habitantes se encuentran expuestos diariamente.

Algunas de las causas de la contaminación por metales podrían ser, el vertido de aguas residuales sin tratamiento previo, la infiltración de aguas negras y el desarrollo de actividades industriales (metalúrgicas y metalmecánicas) particularmente en la parte baja de la cuenca. Sin embargo, la principal amenaza de este tipo de contaminación no reside en su acumulación en la fracción sedimentable sino en los mecanismos de sorción-desorción y precipitación-disolución, dependientes de las condiciones físicas y químicas de los arroyos, que pueden provocar su resuspensión en la columna de agua dejándolos biodisponibles.

En el caso de los HTPs la confluencia de ambos arroyos superó ampliamente el valor guía establecido por la Autoridad del Agua Res. 336/2003 de ≤ 30 ppm. Este resultado refleja la acumulación de hidrocarburos que ocurre cuando ambos arroyos confluyen arrastrando hidrocarburos provenientes de la actividad vehicular a través de los efluentes pluviales.

Si bien los niveles de los 16 HAPs analizados resultaron por debajo del límite en todas las muestras de sedimento, y sólo el sitio Conf presentó niveles detectables, consideramos importante continuar relevando su concentración tanto en sedimentos como en agua, ya que son contaminantes ubicuos con múltiples fuentes que se generan por combustión incompleta de materia orgánica; hecho que sucede con frecuencia en la quema de numerosos basurales clandestinos ubicados a la vera de ambos arroyos.

Estos resultados evidencian el deterioro progresivo, e incluso histórico, de aguas abajo que ambos cuerpos de agua padecen. Considerando la potencialidad carcinogénica de los contaminantes encontrados y la alta densidad poblacional que rodea a estos arroyos, resultaría de suma importancia la intervención inmediata por parte de las autoridades responsables.

5. REFERENCIAS

[1] Albert L. *Curso Básico de Toxicología Ambiental*, Noriega Editores, México, pp. 310, (1999).

¹Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Dpto. Química, Fac. Cs. Exactas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. lucilaelordi@quimica.unlp.edu.ar, aaporta@yahoo.com.ar

²Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas (CINDECA, CCT CONICET La Plata- FCE UNLP), 47 e/ 1 y 115, La Plata, 1900, Argentina. jecolman@hotmail.com.

- [2] Hart C. y Fuller S., *Pollution Ecology of Freshwater invertebrates*, Academic Press Inc., pp.389, (1974).
- [3] Esteves J., Gil M. y Harvey M. *Evaluación de la contaminación por metales en sedimentos y materiales en suspensión de la cuenca Turbio-Gallegos*, Informe Técnico N°12 del Plan de Manejo Integrado de la Zona Costera Patagónica. Puerto Madryn, Argentina, pp.21, (1996).
- [4] Bohn H., McNeal B. y O'Connor G.. *Soil Chemistry*, 2da ed. Canadá: John Wiley & Sons, Inc, pp. 341, (2001).
- [5] Mariani C. y Pompêo M. "La calidad del sedimento: La contaminación por metales puede ser una amenaza para los seres vivos", *Revista Ciencia Hoy*, 18(107), pp. 48-53, (2008).
- [6] Ruiz E.; Echenandía A. y Romero F., *Relaciones entre agua y sedimento en río de origen torrencial*. *Limnética*, 10(1), pp.101-107, (1994).
- [7] Moreno M., *Toxicología Ambiental "Evaluación de riegos para la salud humana"*, Mc Graw-Hill/Interamericana de España. Madrid-España, (2003).
- [8] Acosta V., Lodeiros C., Senior W. y Martínez G., "Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela". *Interciencia*, 27(12), pp. 686-690, (2002).
- [9] Herrera J., Rodríguez J., Coto J., Salgado V., Borbón H., "Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro", *Tecnología en Marcha*, 26 (1), pp. 27-36, (2012).
- [10] Martínez-Tabche L., Gómez-Oliván L., Martínez M., Castillo C, y Santiago A., "Toxicity of nickel in artificial sediment on acetylcholinesterase activity and hemoglobin concentration of the aquatic flea, moina macrocopa", *Journal of Environmental Hydrology*, 8(4), 1-10, (2000).
- [11] Rivero y Vallarino., "Primeros datos de la macrofauna del puerto de Mar de Plata (Argentina) y el uso de poliquetos como indicadores de contaminación", *Revista de Biología Marina*, 138, (2005).
- [12] Prieto Díaz V. y Martínez de Villa Pérez A., "La contaminación de las aguas por hidrocarburos: un enfoque para abordar su estudio", *Rev Cubana Hig Epidemiol*, 37(1), pp. 13-20, (1999).
- [13] Blázquez Rodea G., *Fotodegradación de naftaleno en agua catalizada por óxido de titanio de tamaño nanométrico*, Proyecto Fin de Carrera Departamento de Ingeniería Química y Combustibles. E.T.S.I. de Minas de Madrid, (2003).
- [14] Spiro T. y Stigliani W., *Química medioambiental*, 2ª edición, pp.438- 458, (2006).
- [15] CCME, Canadian Environmental Quality Guidelines, Niveles Guía de Calidad de Sedimento, Protección de la Vida Acuática, (2002).
- [16] ADA, Autoridad del Agua Resolución 336/2003. ANEXO II: Parámetros de Calidad de las Descargas Límite Admisibles, (2003).
- [17] Botello A., Rojas J., Benítez J. y Zárate D., "Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y tendencias", EPOMEX Serie Científica 5, Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche, pp.666, (1996).
- [18] USEPA United States Environmental Protection Agency, Office of Environmental Information, Emergency Planning and Community Right-to Know Act- Section 313: Guidance for Reporting Toxic Chemicals: Polycyclic Aromatic Compounds Category, EPA 260-B-01-03, Washington, DC, (2008).
- [19] Elordi, M. Lucila, Colman Lerner, J. Esteban y Porta, A. Andrés, "Estimación y evaluación de la calidad del agua de los arroyos Las Piedras y San Francisco mediante el Índice de

Calidad del Agua WQI-NSF”, *Contaminación atmosférica e hídrica en Argentina: contribuciones de la IV Reunión Anual PROIMCA y II Reunión Anual PRODECA*. Universidad Tecnológica Nacional, pp. 207- 216, (2013).

¹Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, Dpto. Química, Fac. Cs. Exactas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina. lucilaelordi@quimica.unlp.edu.ar, aaporta@yahoo.com.ar

²Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas (CINDECA, CCT CONICET La Plata- FCE UNLP), 47 e/ 1 y 115, La Plata, 1900, Argentina. jecolman@hotmail.com.