

Evaluación de la contaminación orgánica e inorgánica en un suelo aluvial de la costa del Riachuelo, Buenos Aires, Argentina

SILVIA RATTO✉, ERNESTO MARCECA, GUSTAVO MOSCATELLI, DANIELA ABBRUZESE, HERNÁN BARDI, MARIANO BOSSI, PATRICIA BRES, GABRIELA CORDÓN, MARÍA PÍA DI NANO, LEONARDO MURRUNI, KARINA POTARSKY & FERNANDO WILLIAMS

Escuela de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de General San Martín, Villa Ballester, Argentina

RESUMEN. Se evaluó el suelo en un área urbana a orillas del río Riachuelo, en la ciudad de Buenos Aires. Las muestras superficiales (0-25 cm) fueron tomadas en transectas perpendiculares a la costa. Se detectó la presencia de metales pesados y de compuestos orgánicos contaminantes. Los rangos de valores obtenidos para los metales fueron: 1-5 mg/kg de cadmio, 4-23 mg/kg de arsénico, 25-497 mg/kg de cobre, 8-43 mg/kg de níquel, 5-503 mg/kg de cromo y 21-235 mg/kg de plomo. El cadmio, el cobre, el arsénico y el cromo superaron los valores considerados no tolerables por la ley 24051 de residuos peligrosos para el uso más restrictivo. El tolueno fue el compuesto orgánico predominante. La concentración de metales e hidrocarburos disminuyó (aunque en diferente proporción) al alejarse unos cuatro metros desde la línea costera hacia el interior. Las variables edáficas también cambiaron sus valores en una estrecha distancia: el pH aumentó y el carbono total disminuyó entre la ribera y 4 m tierra adentro. El cinc y el cobre extraídos con DTPA (fracción que comprende a los compuestos más solubles, de mayor actividad) alcanzaron valores de 12.5-47.2 mg/kg y 2.99-14.46 mg/kg, respectivamente, muy superiores a los registrados en suelos agrícolas de origen similar. La fuente de estos metales y contaminantes orgánicos es el agua del río, y se evidencia el efecto protector de la ribera frente a la acumulación de desechos con efecto contaminante potencial. La combinación de distintos metales pesados en exceso y productos orgánicos de riesgo para la salud convierten al sitio en un lugar no apto para la recreación. La remediación o saneamiento es indispensable para minimizar los riesgos para la población que frecuenta el sitio.

[Palabras clave: microelementos, metales pesados, hidrocarburos, costa fluvial]

ABSTRACT. **Assessment of organic and inorganic pollution in an alluvial soil of the Riachuelo River, Buenos Aires, Argentina:** An evaluation of soils from a coastline sector of the Riachuelo River, in Buenos Aires City, was carried out. Superficial soil samples (0-25 cm depth) were taken on perpendicular transects from the river to inland, and analyzed to identify organic and inorganic contaminants. Ranges of values for metals were: 1-5 mg/kg for cadmium, 4-23 mg/kg for arsenic, 25-497 mg/kg for copper, 8-43 mg/kg for nickel, 5-503 mg/kg for chromium, and 21-235 mg/kg for lead. Cadmium, arsenic, copper and chromium levels were higher than those considered dangerous by the Argentine hazardous wastes law 24051. Toluene was the most important organic pollutant identified. Concentration of metals and organic pollutant decreased sharply from the coastal river line into the land. Soil characteristics also changed in a short distance: pH increased and total carbon decreased along the transect from the coast into the land. Zinc and copper extracted by DTPA reached 12.5-47.2 mg/kg and 2.99-14.46 mg/kg, respectively, higher

✉ Escuela de Ciencia y Tecnología, Univ. Nac. de General San Martín, Calle 78, 3901, Villa Ballester. Dirección actual: Cát. de Edafología, Fac. de Agronomía de la UBA. Av. San Martín 4453. 1417. Buenos Aires. sratto@agro.uba.ar

Recibido: 19 de marzo de 2003; Fin de arbitraje: 17 de junio de 2003; Revisión recibida: 11 de septiembre de 2003; Segunda revisión recibida: 11 de marzo de 2004; Versión final recibida: 17 de marzo de 2004; Aceptado: 17 de marzo de 2004

values than those usually found in this type of soils. Metals and hydrocarbons come from the river. Four meters far from the riverside, the concentration of metals diminishes to acceptable values. This variation shows the protective effect of the riverside. Remediation to make public access possible without risk for the population is recommended.

[Keywords: microelements, heavy metals, hydrocarbons, urban riverside]

INTRODUCCIÓN

El río Riachuelo, límite sur de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y eje en algún momento del movimiento de parte de la economía de la zona sur de la ciudad, es hoy un curso de agua contaminado. La falta de control de vertidos de efluentes industriales en sus aguas lo ha transformado en un caso paradigmático. A ello contribuye el estar rodeado por urbanización, constituyendo un elevado riesgo para la salud de la población. De acuerdo con el Comité Ejecutivo del Plan de Gestión Ambiental y de Manejo de la Cuenca Matanza-Riachuelo, 19 empresas generan el 80% de la contaminación industrial, volcando sus efluentes directamente al curso de agua. El 93% de las personas que viven en villas de emergencia está asentado en el sur, justo al borde del Riachuelo: la población crece a un ritmo de 7% anual y el índice de mortalidad infantil es alarmante: 18.4 por mil (Senet et al. 1997). La Auditoría General de la Nación presentó en 1996 un informe sobre la problemática del agua en toda la cuenca, describiendo la complejidad del manejo de la misma por la cantidad de jurisdicciones que abarca y de municipios que involucra (Senet et al. 1997). Los sucesivos planes para limpiarlo no han sido exitosos y han comprometido el patrimonio nacional con préstamos que no han rendido frutos. A las aguas son volcados tanto contaminantes orgánicos como inorgánicos, y muchos de estos compuestos pueden afectar de manera importante la salud de la población.

Aparte de la basura de todo tipo que arrastran las aguas del Riachuelo, con el consecuente deterioro de la calidad de las mismas, los periódicos desbordes implican la posibilidad de contaminación de los suelos que bordean la cuenca. El suelo no debería utilizarse como un depósito geoquímico de contami-

nantes. El suelo actúa como un filtro biológico, controlando el transporte de sustancias y elementos químicos hacia la atmósfera, la hidrosfera y la biota (Adriano 1986). La persistencia de los metales en el suelo es mucho mayor que en otros compartimentos de la biosfera. En la interfase de los sedimentos ocurre una gran variedad de procesos, tales como la adsorción, el intercambio iónico, la precipitación y la captación biológica. Debido a su poca solubilidad, los microelementos y la materia orgánica hidrofóbica tienen un transporte gobernado por su habilidad para interactuar con superficies (Kabata Pendías & Pendías 1985). El impacto de los cationes metálicos sobre los procesos biológicos del suelo puede ser positivo o negativo y está íntimamente relacionado con el estado de solubilidad del metal. La forma química de los metales traza está afectada por el pH, el potencial redox, la materia orgánica y las reacciones biológicas, y puede dar idea de su origen o biodisponibilidad. Si se encuentran adheridos a óxidos pueden haber sido adsorbidos de la solución del suelo y ser de origen humano (movilización reciente). Aquellos que se encuentran adheridos a materia orgánica pueden ser biológicamente activos (Alloway 1990).

Existe una gran variedad de compuestos orgánicos, muchos de ellos xenobióticos. El riesgo para el entorno depende de su peligrosidad (i.e., su toxicidad intrínseca, su potencial de bioacumulación y la posibilidad de biodegradación), así como de su biodisponibilidad para los organismos del medio.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el grado y el origen de la contaminación del suelo en una de las márgenes del Riachuelo. La hipótesis propuesta fue que el aporte permanente de aguas contaminadas afecta la calidad del suelo, disminuyendo las posibilidades de uso.

MÉTODOS

Muestras de suelo

Las muestras de suelo se tomaron en un área costera del Riachuelo con evidentes rasgos de deterioro ambiental, con manchas oscuras (aparentemente correspondientes a restos de hidrocarburos) y presencia de olores nauseabundos. El sitio estaba cerca de la desembocadura del Riachuelo, en un predio costero cercano a un hipermercado (34°39'30"S; 58°22'29"O, altitud: 3 m.s.n.m.). En este lugar la ribera costera tenía 15-20 m de ancho. El muestreo se efectuó siguiendo un diseño de cuadrícula. Se tomaron siete muestras a 2 m de distancia entre sí, a 0-25 cm de profundidad. La profundidad fue de 25 cm porque se consideró que el sitio es de presencia humana periódica. Si fuera permanente, se deberían tomar muestras, al menos, de los primeros 60 cm (International Society Organization 2002). En la Figura 1 se indica la localización de las muestras. Las muestras 1, 2 y 3 constituyeron la serie 1 y las muestras 4, 5 y 6 la

serie 2. Ambas series estuvieron ubicadas perpendiculares al río.

En cada punto de muestreo de la serie 2 se tomaron aproximadamente 2 kg de muestra, compuesta por tres submuestras obtenidas en el mismo punto. Una parte de la muestra se mantuvo con su humedad natural para el análisis de hidrocarburos, el resto de la muestra se secó y pasó por un tamiz de 2 mm para la caracterización físico-química y el análisis de metales. Adicionalmente, se analizó el contenido extraíble de los microelementos cobre, cinc, hierro y manganeso.

Análisis químicos

Se midió pH en solución acuosa usando la dilución 1:2.5 (pH actual), carbono orgánico total (Walkley y Black), fósforo (Bray y Kurtz 1), capacidad de intercambio catiónico y bases de cambio (Ac.NH₄ pH 7). La técnica aplicada fue la usual en análisis de suelos (Page et al. 1982). La extracción de la fracción más soluble de los metales considerados nutrientes para los vegetales (cinc, cobre, hierro y manganeso) se efectuó con la técnica propuesta por Lindsay & Norvell (1978) para suelos con y sin contaminación por metales (O'Connor 1998), ya que resulta efectiva para un amplio espectro de suelos. El extractor es una solución quelante: ácido dietilentriaminopentacético (DTPA) 0.005 M, pH 7.3 en CaCl₂ 0.01 M y trietanolamina 0.1 M. La extracción con DTPA, al igual que la efectuada con otros compuestos como el EDTA, se utiliza para cuantificar la fracción lábil del elemento, de gran utilidad para el diagnóstico de la necesidad de fertilización por extraer las formas químicas solubles, intercambiables y las débilmente unidas con la materia orgánica (Norvell 1984). Estas formas son consideradas las de mayor biodisponibilidad. Para la determinación se utilizó espectrofotometría de absorción atómica en un equipo Zeiss FMD4.

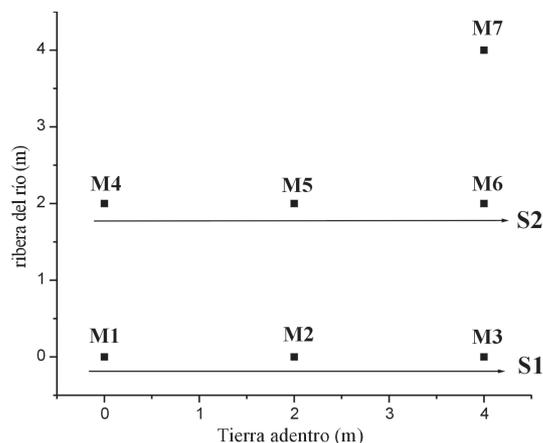


Figura 1: Localización de las muestras de suelo (M) en la costa del Riachuelo, Buenos Aires. El eje horizontal representa la distancia perpendicular al Riachuelo y el eje vertical la ribera del mismo. S1 y S2 corresponden a las dos series de muestras.

Figure 1: Location of soil samples (M) in the coast of the Riachuelo River, Buenos Aires. The horizontal axis represents the perpendicular distance to the coast, whereas the vertical axis represents the river coast. S1 and S2 are sampling series.

Humedad

El contenido de humedad se determinó gravimétricamente luego de secar una porción de suelo en estufa. Fue expresado como g H₂O/100 g suelo.

Metales

Para evaluar el contenido total de metales en el suelo se utilizó la técnica de la Environmental Protection Agency adoptada por la International Society Organization de extracción con agua regia (HCl-HNO₃) y utilizada originalmente por McGrath et al. (1994). Se tomaron 100 g de suelo, se agregaron 46 ml de HCl y 1 ml de HNO₃ y se calentó 20 min a ebullición. Se dejó enfriar y se filtró. Esta técnica disuelve metales adsorbidos en la superficie pero no rompe la matriz del suelo, por lo que a veces se la denomina de "pseudototales", brindando resultados muy semejantes a la extracción más agresiva hecha con ácido fluorhídrico. El cromo y (en algunos casos) el níquel pueden presentar valores menores cuando son extraídos con agua regia (Marbán et al. 2000), pero la sencillez del procedimiento determinó el uso de esta técnica en lugar de la extracción con ácido fluorhídrico. La muestra filtrada se utilizó para la cuantificación de metales por espectrometría de emisión inducida por plasma en un equipo Baird-ICP 2070. Para la comparación se usó material de referencia NIST 2704. Se analizaron los contenidos de arsénico, cobre, cadmio, cromo, níquel y plomo en todas las muestras.

Hidrocarburos

Para evaluar el contenido de hidrocarburos en el suelo se utilizó la técnica Soxhlet de extracción continua. Se tomaron 20-35 g de suelo y se agregó una cantidad equivalente de sulfato de sodio anhidro para extraer el agua que pudo haber quedado retenida. Se utilizó un solvente clorado para evitar cualquier contaminación con hidrocarburos como la que podría producirse utilizando octano. El solvente, diclorometano (DMC), se agregó a razón de 100 ml por muestra. El DCM tiene baja temperatura de ebullición y asegura que no evapore el gas. La temperatura de extracción utilizada fue de 30°C y el punto de condensación del DCM de 37°C. El tubo del Soxhlet quedó lleno hasta la mitad. El tiempo de extracción fue de 1 hora y luego se concentró 10 veces en un rotavapor (volumen final: 10 ml) y se inyectó 1 ml del extracto en el GC-MS. La corrida del extracto se efectuó en

un cromatógrafo gaseoso Shimadzu GC 17a, con detector de espectroscopía de masa Shimadzu QP 5000. La columna utilizada fue una capilar DB-WAX de 30 m de longitud con 0.25 micrones de pared. El contenido se refirió a peso seco. La identificación de compuestos se realizó usando el programa Class 5000 y las bibliotecas NIST. Solo se informó acerca de grupos de compuestos orgánicos aislados e identificados con certeza superior al 90%.

Los resultados de la muestra 5 no se presentan porque hubo algún error en la etapa de muestreo, preparación o análisis, ya que en el cromatograma sólo se pudo identificar DCM y bajas concentraciones de tolueno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Valores de referencia para metales en suelo

La concentración máxima de un metal en el suelo sin que perjudique a la población y al ecosistema puede ser calculada dependiendo de factores locales, del uso de la tierra y de criterios adoptados por investigadores y organismos de reglamentación. Además de los efectos ecológicos generales, se deben considerar los posibles daños a la salud de los animales y, particularmente, al hombre. Las reglamentaciones de los diferentes países no siempre son equivalentes y en nuestro país los valores de concentración máxima o límite para diferentes actividades están tomados de la literatura, faltando ensayos ecotoxicológicos que demuestren que son apropiados para nuestra realidad. En este trabajo se tomaron como referencia los valores límite de la ley 24051 de Residuos Peligrosos, decreto reglamentario 831/93, ahora reemplazada por la Ley General del Ambiente 25.675 (noviembre de 2002), aún sin reglamentar. Esta ley señala valores máximos aceptables para distintos contaminantes orgánicos e inorgánicos (ley 24.051) y para distintos usos del suelo. Los valores para metales se incluyen en la Tabla 1. Una alternativa cuando se desconocen los valores de metales de base del sitio es utilizar los valores promedio de los elementos en la litosfera para calcular el grado de "enriquecimiento" de cada elemento (Frink 1996), que puede ser producto del proceso pedogenético,

Tabla 1. Valores máximos de concentración de metales (mg/kg) admitidos por la ley 24051 de residuos peligrosos en Argentina.

Table 1. Reference values for trace metal concentration (mg/kg) in the hazardous waste Argentine law 24051.

Metal	Uso agrícola	Uso residencial	Uso industrial
Cd	3	5	20
Cu	150	100	500
Ni	150	100	500
As	20	30	50
Pb	375	500	1000
Cr	750	250	800

del material parental o de aportes humanos. Una idea más precisa del comportamiento del elemento en el medio la brinda el conocimiento de la relación entre la fracción activa y la inactiva, porque nos permite calcular el flujo. Si este último aumenta su velocidad como consecuencia de aportes humanos, se alteran los ciclos biogeoquímicos y los tiempos de residencia del metal en cada compartimento del ecosistema (Fergusson 1990).

Caracterización del suelo

El pH del suelo mostró grandes cambios en distancias muy pequeñas. Se encontró un pH muy ácido en la costa, con un promedio de 4.3, y neutro a básico (mayor de 7) en las muestras más alejadas (Tabla 2). El aumento fue progresivo e indica un cambio sustancial en las características edáficas. La acidez del

suelo resulta de gran importancia por su efecto sobre la solubilidad y biodisponibilidad de los metales (Jansen et al. 1997). Cuanto menor es el pH hay una mayor solubilidad y, por ende, mayor disponibilidad para los organismos vivos, aumentando el riesgo de toxicidad.

El carbono total, otra característica relacionada con la solubilidad de los metales, presentó variaciones extremas (Tabla 2). El valor tan elevado en la costa es de origen humano, tal como se infiere de los análisis de hidrocarburos (Figura 2 y 3).

El complejo de cambio se presentó desbalanceado para la relación sodio/potasio, con sodio en exceso y déficit de potasio (Tabla 2). El enriquecimiento en sodio puede ser consecuencia del impacto de los efluentes ricos en este elemento, componente de detergentes, de la soda cáustica y del cloruro de sodio utilizado como agente deshidratante por numerosas industrias. La tendencia geoquímica del potasio de adsorberse más rápidamente en los lugares de origen ocasionaría este desequilibrio.

A pesar de la variación de pH, la relación de saturación cálcica se mantuvo para todas las muestras en un valor cercano al 70%, aumentando la capacidad de intercambio desde la muestra más cercana al río hacia adentro (Tabla 2). Los valores de capacidad de intercambio no se incluyeron por sospecharse, de acuerdo con el valor de calcio, la presencia de algún precipitado de este elemento que se disuelve al efectuar la extracción. Las anomalías en los valores del complejo de cambio se dieron en todas las muestras analizadas.

Tabla 2. Variables edáficas medidas en las muestras de suelo de la serie 2 en la costa del Riachuelo, Buenos Aires.

Table 2. Variables measured in series 2 soil samples from the coast of the Riachuelo River, Buenos Aires.

Muestra	pH	P (mg/kg)	C total (%)	Ca (cmol _c /kg)	Mg (cmol _c /kg)	Na (cmol _c /kg)	K (cmol _c /kg)
M4	4.36	1.17	6.29	81.25	14.57	10.68	0.75
M5	6.36	36.40	4.33	113.05	21.06	11.85	1.68
M6	7.35	30.75	0.80	123.80	22.52	14.10	1.89

Micronutrientes

Algunos de los elementos analizados (hierro, cobre, cinc extraíble con DTPA y manganeso; Tabla 3) son esenciales para las plantas dentro de cierto rango, ya que superados ciertos límites pueden ser tóxicos (Moortvedt et al. 1972). En todas las muestras, el cinc presentó valores superiores a los de suelos agrícolas no contaminados, que en la pradera pampeana varían en un rango de 0.2-1.0 mg/kg (Ratto de Míguez & Fatta 1990; Urricarriet & Lavado 1999). El hierro y el cobre tuvieron valores superiores en las muestras cercanas al río, mientras que el manganeso mostró valores bajos en todas las situaciones. Los valores de cobre en las muestras cercanas a la orilla son muy elevados y superiores a los de sitios agrícolas no contaminados (Moortvedt et al. 1972). Tanto el cobre como el cinc aumentaron alrededor de tres veces su magnitud en una distancia muy corta. A pesar de su escasa movilidad, la variación espacial de la concentración de metales en el suelo es

Tabla 3. Concentración de metales (mg/kg) medida en las muestras de suelo de la serie 2 en la costa del Riachuelo, Buenos Aires.

Table 3. Metal concentration (mg/kg) measured in series 2 soil samples from the coast of the Riachuelo River, Buenos Aires.

Muestra	Fe	Cu	Zn	Mn
M4	324	10.09	38.5	15.69
M5	108	13.46	47.2	4.12
M6	33	2.99	12.5	2.75

frecuente (Ratto et al. 1997). Las diferencias se magnifican en los suelos que han recibido algún aporte de origen diferente al material parental, generalmente humano.

Contenido total de metales

El contenido total de cadmio, cobre, arsénico y cromo superó en algunas muestras los va-

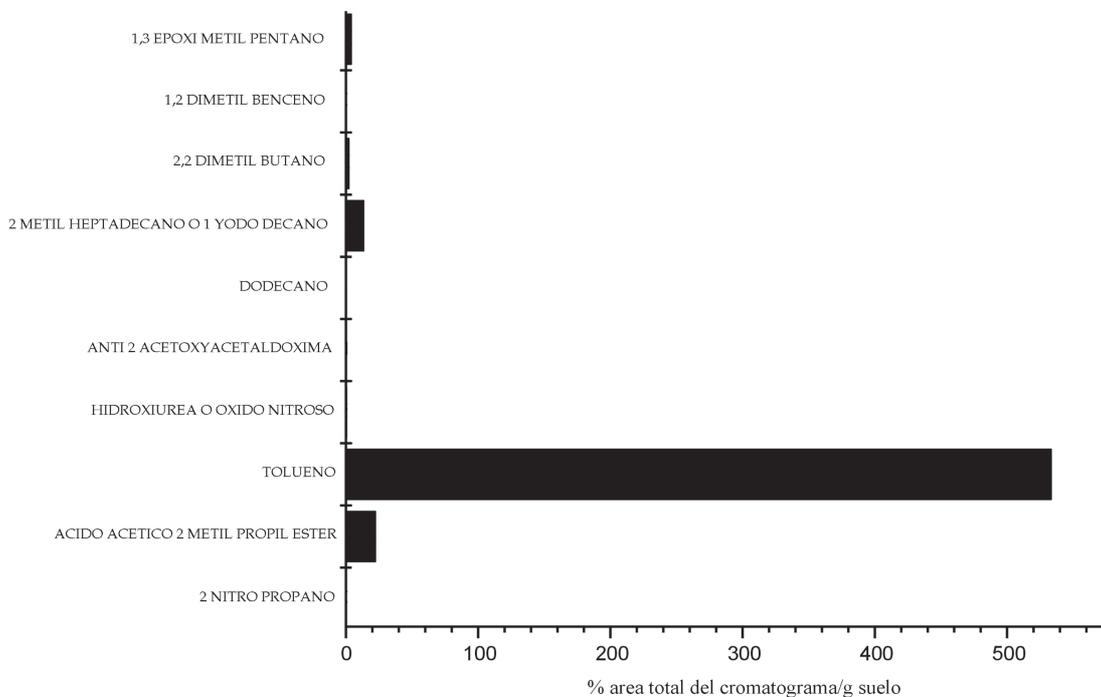


Figura 2. Abundancia relativa de distintos compuestos orgánicos en la muestra 4 de suelo de la costa del Riachuelo, Buenos Aires.

Figure 2. Relative abundance of different organic compounds in the soil sample 4 from the coast of the Riachuelo River, Buenos Aires.

lores máximos admitidos para ciertos usos (Tabla 1 y 4). El contenido de humedad de las muestras disminuyó desde las más cercanas a la costa hacia las internas (67% en la muestra 4, 45% en la 5 y 22% en la 6). El coeficiente de partición K_d (metal adsorbido/metal soluble) disminuye con el aumento de humedad (Yin et al. 1999), lo que indicaría un aumento de la solubilidad para todos los elementos en la costa, pero con diferente grado de expresión. Mayor contenido de materia orgánica y menor pH son condiciones que se asocian en el sector costero para favorecer la solubilidad de los metales y, por consiguiente, el riesgo de toxicidad (Bourg 1995).

Los valores máximos propuestos para el cadmio son de 2 mg/kg (Alemania), 3 mg/kg (Polonia e Inglaterra), 5 mg/kg (Austria) y 8 mg/kg (Canadá); en Alemania el valor de fitotoxicidad es de 5 mg/kg (Kabata Pendías 1995). En el Riachuelo, los valores oscilaron entre 1-5 mg/kg (Tabla 4), superando en una de las muestras el límite permisible para uso agrícola por la ley argentina. Aunque la con-

centración de cadmio puede llegar en condiciones naturales a 1.1 mg/kg, generalmente no supera los 0.5 mg/kg. Valores superiores coinciden con aportes de origen humano (Jackson & Alloway 1992). En un estudio exhaustivo se encontraron contenidos de 1.3-4.9 mg/kg en sedimentos ubicados entre 0-2 cm, en la cuenca del río Matanza (Rendina 2002). Los valores superiores correspondieron a zonas de mayor densidad de población. El 73.6% del cadmio determinado en ese estudio correspondió a la fracción no residual (i.e., la de mayor biodisponibilidad). Hay una gran semejanza entre los valores hallados en esa cuenca y los correspondientes al suelo estudiado. Es preocupante que los vertidos con cadmio se realicen sin control, debido a la facilidad que tiene de introducirse en la cadena trófica y a lo peligroso que es para los seres vivos (Adriano 1992).

Los valores de cobre registrados variaron entre 25-497 mg/kg (Tabla 4) e indican que hay sitios (los más cercanos al río, hasta una distancia de 2 m) que no permiten actividades re-

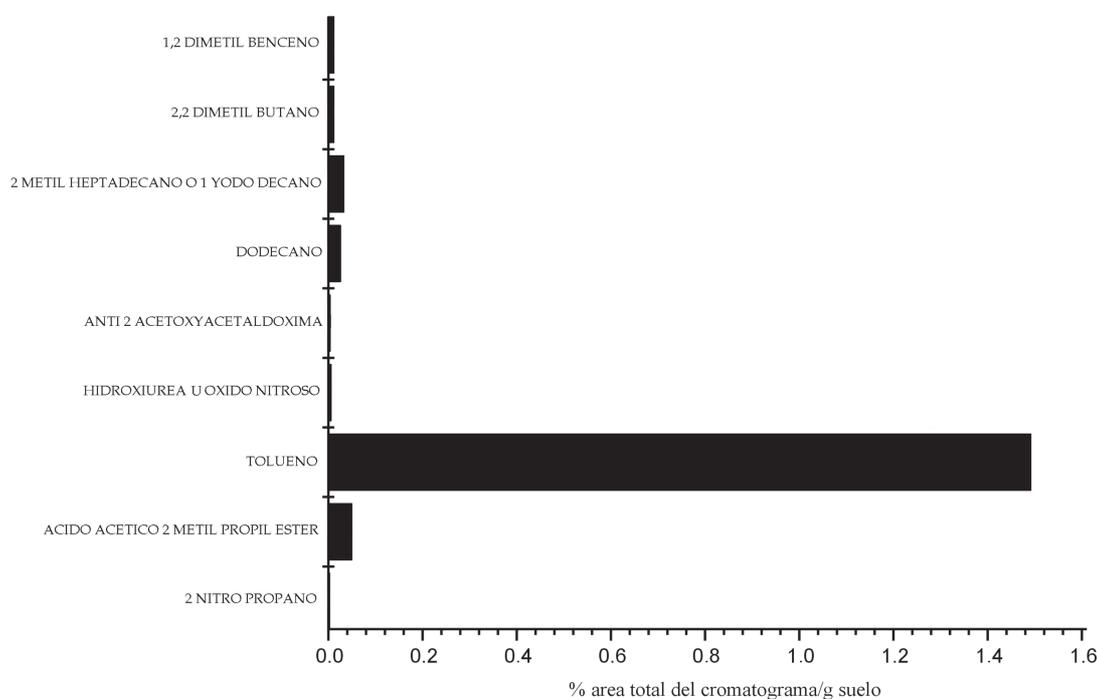


Figura 3. Abundancia relativa de distintos compuestos orgánicos en la muestra 6 de suelo de la costa del Riachuelo, Buenos Aires.

Figure 3. Relative abundance of different organic compounds in the soil sample 6 from the coast of the Riachuelo River, Buenos Aires.

Tabla 4. Contenido total de metales (mg/kg) medido en las muestras de suelo en la costa del Riachuelo, Buenos Aires. Los asteriscos indican concentraciones que superan los valores admitidos para el uso más restrictivo.

Table 4. Total metal concentration (mg/kg) measured in soil samples from the coast of the Riachuelo River, Buenos Aires. Asterisks indicate concentrations above the more restrictive legal limit.

Muestra	Cd	Cu	Cr	As	Pb	Ni
M1	2	271 *	301 *	12	133	26
M2	1	154	152	15	121	15
M3	1	41	23	5	43	8
M4	5 *	497 *	503 *	23 *	235	43
M5	2	179	192	10	107	18
M6	1	70	12	8	50	8
M7	1	25	5	4	21	8

sidenciales ni agrícolas, con un punto que roza el límite para la actividad industrial. Se considera que valores superiores a 100 mg/kg en el suelo se originan como consecuencia de la actividad del hombre. Este sería uno de los metales más preocupantes por su acción biocida sobre los microorganismos (Kabata Pendías & Pendías 1985). Rendina (2002) encontró valores de 24.7-37.9 mg/kg en los sedimentos del río Matanza. Camilión et al. (2003) encontraron en la misma cuenca valores menores de cobre y mayores de plomo. La diferencia tan grande entre esos valores y los determinados en este trabajo sólo puede ser explicada por aportes de origen industrial o doméstico de gran importancia a lo largo de la cuenca.

El cromo, muy probablemente proveniente de la industria de la curtiembre, califica al sitio como no apto para uso residencial por sus altas concentraciones (5-503 mg/kg; Tabla 4). El contenido natural de cromo en suelos varía entre 100-300 mg/kg (Aubert & Pinta 1977). Las concentraciones máximas de cromo reglamentadas en Europa varían entre 50-200 mg/kg, mientras que en Alemania se indica que 500 mg/kg es fitotóxico (Kabata Pendías 1995). Es indudable que hay vertidos

muy ricos en este elemento y esto se puede asociar también con la industria del plateado y del acero inoxidable, pigmentos, inhibidores de la corrosión, síntesis de sustancias orgánicas y preservación de la madera (Losi et al. 1994).

La presencia del arsénico indica probablemente aporte de residuos provenientes de la industria metalúrgica o de zonas agrícolas con aplicación de venenos industriales. Solo una muestra costera superó el valor reglamentado como máximo para uso agrícola (Tabla 4). Los países europeos tienen concentraciones límite para el arsénico que oscilan entre 15-50 mg/kg (Kabata Pendías 1995). En el Riachuelo, los valores de 15 y 23 mg/kg estarían en el rango de riesgo moderado, pero en condiciones de alerta.

El valor límite de concentración aceptable para el plomo es variable entre los países. Los máximos admisibles son de 100 mg/kg (Austria, Polonia y Gran Bretaña), 200 mg/kg (Canadá), 400 mg/kg (Japón) y 500 mg/kg (Alemania). En este último, 1000 mg/kg son considerados como fitotóxicos. Rendina (2002) encontró valores de 41.9-130 mg/kg en sedimentos de la cuenca del río Matanza. El valor de 130 mg/kg fue diferente ($P < 0.05$) al resto y correspondió a una muestra ubicada en un área periurbana. A los 20 cm prácticamente todas las muestras analizadas estaban alrededor de 30 mg/kg, indicando la base geogénica del sitio para este elemento. La pronunciada diferencia entre la base geogénica considerada y los valores encontrados en el Riachuelo (43-235 mg/kg; Tabla 4) indican un notable enriquecimiento de plomo. Camilión et al. (datos no publ.) hallaron valores de 40-592 mg/kg en suelos del gran La Plata. El suelo rico en plomo es una importante vía de transferencia del elemento para el hombre, por lo que los valores hallados en este estudio constituyen un alerta, respaldado por una gran cantidad de investigaciones (Howard & Reagan 1998). Los estudios de Camilión et al. (2003) atribuyen al plomo el papel de elemento dominante, junto con el cinc, en la contaminación de la cuenca. De acuerdo con Rendina (2002), cuanto mayor es el valor de plomo total por contribuciones de origen humano, mayor es la proporción de la fracción más soluble.

En este caso particular se necesita de la recopilación y ordenamiento de datos a lo largo

de la cuenca para poder efectuar predicciones sobre el comportamiento de los contaminantes en el tiempo. Hay conciencia entre la comunidad científica de que la cantidad de metales biodisponibles está aumentando a escala planetaria (Adriano 1992; Kabata Pendías 1995). El efecto de la cantidad excesiva de metales traza sobre las propiedades del suelo depende de las reacciones complejas entre los cationes traza y otros componentes de la fase sólida, líquida y gaseosa del suelo. Se ha observado una elevada correlación entre el contenido de metal en las plantas y las especies solubles en suelo (Kabata Pendías 1995), constituyéndose en una vía de entrada directa en la cadena trófica. Esa es la principal razón por la que se fijan valores máximos para la concentración de los metales en suelos de uso agrícola, diferentes de suelos con uso residencial o industrial. La clasificación de los suelos con metales es de vital importancia. En Polonia se ha hecho una escala de 0 para suelo no contaminado, aumentando progresivamente desde I hasta V para suelos extremadamente contaminados, tomando en consideración la textura del suelo y el pH como factores que inciden en el comportamiento del metal (Kabata Pendías 1992). En Holanda se trabaja sobre el concepto de "multifuncionalidad" del suelo. El uso que se hace del suelo no lo debe afectar para futuras actividades. Esto es debido a la cantidad de funciones que cumple, como la de sustento agrícola, función ecológica, hábitat para numerosas especies y filtro biológico (Vegter 1995).

Hidrocarburos

El análisis de hidrocarburos mostró una dominancia del tolueno (Figura 2 y 3), confirmando la falta de control sobre los vertidos de industria en el área (Tarradellas et al. 1996). También estaría indicando una baja eficiencia de la actividad industrial por el vertido de solventes al río. Si los desechos se hubiesen originado en restos de petróleo cabría esperar una mayor cantidad de hidrocarburos lineales. El tolueno tuvo una presencia mayor al 90% del total de hidrocarburos. Otros compuestos detectados en pequeña cantidad fueron 2 nitro-propano, hidroxiamina y 2,2 dimetil-butano, dodecano, dos-metil-heptadecano, 1-2 di-metil benceno y 1,3 epoxi metil-

benceno (Figura 2 y 3). A pesar de que las muestras analizadas tuvieron aproximadamente el mismo tipo de compuestos orgánicos, se observó una mayor cantidad relativa en la muestra 4, sobre la ribera del Riachuelo. Para el caso del tolueno, por ejemplo, el valor relativo es casi 350 veces superior al de la muestra 6 (Figura 2 y 3).

La contaminación con hidrocarburos presenta ciertas particularidades debidas a su elevada movilidad en los distintos compartimentos ambientales. Hay evidencias de un proceso de fraccionamiento global atmosférico que explicaría la presencia de contaminantes orgánicos de elevado peso molecular y baja presión de vapor en el aire, nieve y biota en las regiones polares (Tarradellas et al. 1996).

Grado de deterioro

El análisis en conjunto indica un área muy degradada y una pérdida importante en la calidad del suelo que lo inhabilita para los usos comunes. Un sitio con el suelo contaminado puede poner en riesgo la salud, lo que implica la necesidad de identificación de los contaminantes. Se deben evaluar los perjuicios eventuales para el usuario ocasional o permanente. Este daño se hace extensivo al ambiente, a los terrenos circundantes, a los cursos de agua superficial y subterránea, a los ecosistemas y a la salud pública. En el terreno se encontraron líquenes y una única especie de planta (*Sagittaria montevidensis*). Las características de esta especie nativa, común en pajonales y arroyos (Boelcke 1976), sugieren mecanismos de tolerancia que le permiten superar el estrés y conservar la homeostasis y, de esa manera, mantener un funcionamiento celular normal, lo que la haría apta para trabajos de fitorremediación (Cumming & Tomsett 1992).

Todavía se desconoce el efecto a largo plazo del deterioro de los suelos; ello se debe a que es difícil predecir la disponibilidad de los contaminantes para las plantas y su tiempo de residencia, que dependen de las variables edáficas. Los contaminantes orgánicos están deteriorando la calidad del suelo y del aire para los habitantes de áreas cercanas y para los transeúntes ocasionales.

Distribución espacial y diagnóstico

En la Figura 4 se presenta la distribución relativa del contenido de metales en el suelo.

El escaso número de muestras no permitió controlar estadísticamente los resultados, pero se observa una clara tendencia. La fuente de estos metales es el agua del río, ya que se

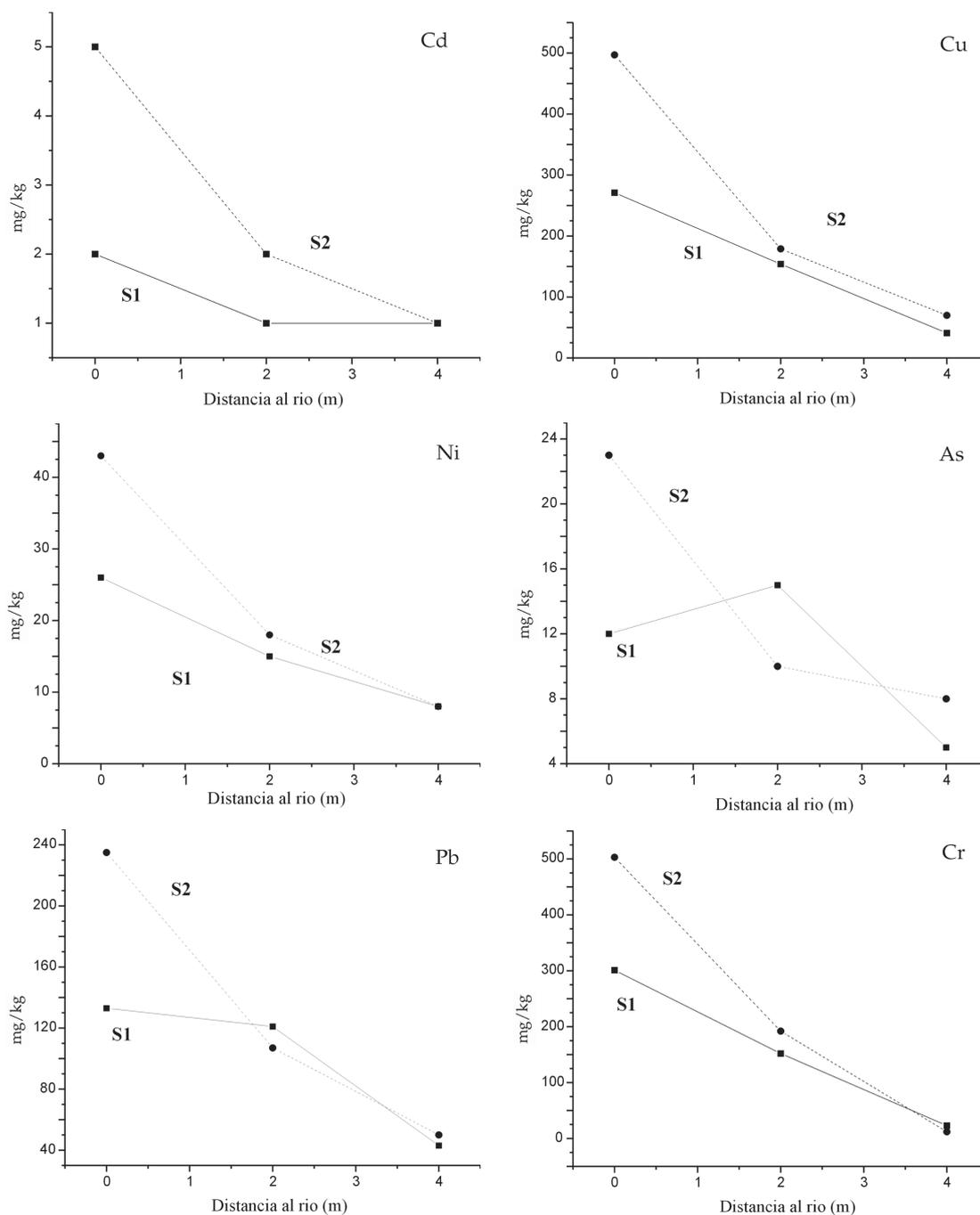


Figura 4. Contenido total de cadmio, níquel, plomo, cobre, arsénico y cromo en las muestras de suelo de las series 1 y 2 en la costa del Riachuelo, Buenos Aires.

Figure 4. Total content of cadmium, copper, nickel, lead, and chromium in series 1 and 2 soil samples from the coast of the Riachuelo River, Buenos Aires.

observa una disminución de la concentración a niveles inocuos alejándose unos cuatro metros de la orilla. En estos casos, los sedimentos costeros actúan protegiendo a los organismos acuáticos, al retener parte de la carga de metales que ellos arrastran (Singh et al. 1996). Los metales que se encuentran en aguas superficiales tienen fuerte afinidad por la fase particulada, lo cual facilita su eliminación de la columna de agua y su acumulación en los sedimentos.

CONCLUSIONES

Los datos obtenidos confirman que el contenido total de cadmio, cobre, arsénico y cromo en el sitio estudiado es mayor que el geoquímico universal. El cinc extraíble presentó valores similares a los de suelos de pradera pampeana no contaminados, confirmando en el área estudiada aportes potencialmente dañinos de origen diferente al pedogenético. La distribución local de los elementos en las zonas más cercanas al curso de agua indica que el río actúa como vehículo transportando los contaminantes y que se debe valorar el efecto protector del suelo del área costera sobre los hábitats terrestres. La presencia dominante del tolueno dentro de los compuestos orgánicos identificados señala un deterioro del suelo capaz de afectar la salud. Los estudios de contaminación orgánica en el suelo son escasos debido a su costo, aunque los resultados obtenidos indican una necesidad de identificación y cuantificación de los mismos. Las crecidas cobran particular importancia como forma de transporte de la contaminación desde el agua hacia el suelo y la remediación o saneamiento es indispensable para minimizar los riesgos para la población que frecuenta el sitio.

BIBLIOGRAFÍA

- ADRIANO, D. 1986. *Trace elements in the terrestrial environment*. Springer-Verlag. New York.
- ADRIANO, D. 1992. *Biogeochemistry of trace metals*. Lewis Publishers. Boca Raton.
- ALLOWAY, BJ. 1990. *Heavy metals in soils*. J Wiley. New York.
- AUBERT, H & M PINTA. 1977. *Trace elements in soils*. Elsevier. Amsterdam.
- BOELCKE, O. 1976. *Taxonomía vegetal*. Facultad de Agronomía. UBA. Buenos Aires.
- BOURG, ACM. 1995. Speciation provoked mobility. Pp. 19-31 en: W Salomons; U Forstner & O Mader (eds). *Heavy metals*. Springer-Verlag. Berlin y Heidelberg.
- CAMILIÓN, M; M MANASSERO; M HURTADO & A RONCO. 2003. Copper, zinc and lead distribution in soils and sediments of the south-western coast of the Río de la Plata estuary. *J. Soil & Sediments* 3:213-220.
- CUMMING, JR & AB TOMSETT. 1992. Metal tolerance in plants: signal transduction and acclimation mechanisms. Pp. 329-364 en: D Adriano (ed.). *Biogeochemistry of trace metals*. Lewis Publishers. Boca Raton.
- FERGUSON, J. 1990. *The heavy elements. Chemistry, environmental impact and health effects*. Pergamon Press. Oxford.
- FRINK, CR. 1996. A perspective on metals in soils. *J. Soil Contam.* 5:329-359.
- HOWARD, W & MPL REAGAN. 1998. Soil is an important pathway of human lead exposure. *Environ. Health Persp.* 106:217-229.
- INTERNATIONAL SOCIETY ORGANIZATION. 2002. *Soil quality sampling. Part 2: guidance on sampling techniques*. International Society Organization. Ginebra.
- JACKSON, A & B ALLOWAY. 1992. The transfer of cadmium from agriculture soils to the human food chain. Pp. 109-158 en: D Adriano (ed.). *Biogeochemistry of trace metals*. Lewis Publishers. Boca Raton.
- JANSEN, RPT; WJGM PEIJNENBURG; L POSTHUMA & AGT VAN DEN HOPO. 1997. Equilibrium partitioning of heavy metals in dutch fields soils. I. Relationship between metal partition coefficients and soil characteristics. *Environ. Toxicol. Chem.* 16:2470-2478.
- KABATA PENDÍAS, A. 1992. Trace elements in soil of Poland. Occurrence and behaviour. *Trace Substances in Environmental Health* 25:53-70.
- KABATA PENDÍAS, A. 1995. Agricultural problems related to excessive trace metal content of soils. Pp. 3-18 en: W Salomons; U Forstner & O Mader (eds). *Heavy metals*. Springer-Verlag. Berlin y Heidelberg.
- KABATA PENDÍAS, A & H PENDÍAS. 1985. *Trace elements in soils and plants*. CRC Press. Boca Raton.
- LINDSAY, WL & WA NORVELL. 1978. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:421-428.
- LOSI, ME; C AMRHEIN & WT FRANKENBERGER JR. 1994. Environmental biochemistry of chromium. *Rev. Environ. Contam. T.* 136:91-121.

- MARBÁN, L; S RATTO & C MAGNAVACCA. 2000. Biosólidos de uso agrícola-urbano y riesgo de contaminación por tóxicos inorgánicos. Pp. 425-429 en: A Aragón; N Arrigo; A Atencio; R Balbuena; R Benencia; G Botta; et al. (eds). *Avances en ingeniería agrícola*. Ed. Facultad de Agronomía. Buenos Aires.
- MCGRATH, SP; AC CHANG; AL PAGE & E WRITTER. 1994. Land application of sewage sludges: scientific perspectives of heavy metal loadings limits in Europe and the United States. *Environ. Rev.* **2**:108-118.
- MOORTVEDT, JJ; PM GIORDANO & WL LINDSAY. 1972. *Micronutrientes in agriculture*. Soil Science Society of America. Madison.
- NORVELL, WA. 1984. Comparison of chelating agents as extractants for metals in diverse soil materials. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **48**:1285-1292.
- O'CONNOR, GA. 1998. Use and misuse of the DTPA soil test. *J. Environ. Qual.* **17**:715-718.
- PAGE, AL; RH MILLER & DR KEENEY. 1982. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2da edn. Soil Science Society of America. Madison.
- RATTO, S; C SAINATO & L DE LÓPEZ CAMELO. 1997. Field scale spatial variability of available micronutrients in a typical Argiudol of Argentina. *J. Trace Microprobe T.* **15**:9-16.
- RATTO DE MÍGUEZ, S & N FATTA. 1990. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del área maicera núcleo. *Ciencia del Suelo* **8**:9-15.
- RENDINA, A. 2002. *Distribución geoquímica de metales pesados en sedimentos del río Matanza y principales arroyos afluentes*. Tesis de Magister, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- SENET, H; A NYSTOROWYCZ; MA AGULLÓ; JM CASAVELOS; MC MUNITIS & A AZUBEL. 1997. *Informes y estudios sobre la problemática del agua*. Auditoría de Gestión Ambiental, Auditoría General de la Nación. Buenos Aires.
- SINGH, BR & E STEINNES. 1996. Soil and water contamination by heavy metals. Pp. 233-271 en: R Lal & BA Stewart (eds). *Soil process and water quality*. CRC Press, Inc. Lewis Publishers. Boca Raton.
- TARRADELLAS, J; G BITTON & G ROSSEL. 1996. *Soil ecotoxicology*. CRC Press y Lewis Publishers. Boca Raton.
- URRICARRIET, S & RS LAVADO. 1999. Indicadores de deterioro en suelos de la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* **17**:37-43.
- VEGTER, JJ. 1995. Soil protection in the Netherlands. Pp. 79-100 en: W Salomons; U Forstner & O Mader (eds). *Heavy metals*. Springer-Verlag. Berlin y Heidelberg.
- YIN Y; S YOU & HE ALLEN. 1999. Lability of heavy metals in soils: role of soil properties. Pp. 358-359 en: *Proceedings of the Fifth International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements*. Viena.