

Heavy metals distribution in superficial sediments of Maracaibo Lake (Venezuela)

Hendrik Ávila¹, Edixon Gutiérrez², Hilda Ledo³, María Araujo²,
Miriam Sánquiz¹

¹Instituto para el Control y Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM).
Apartado Postal 302. Maracaibo, Venezuela. havila@iclam.gov.ve.

²Departamento de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia.

³Laboratorio de Química Ambiental, Departamento de Química, Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia.

Abstract

Ni, V, Cr, Cd, Cu and Pb were determined in superficial sediment samples from System Maracaibo Lake. Thirteen sampling points were sampled in Tablazo bay, Maracaibo Strait and Maracaibo Lake, four times during 2 years as follows: October 1999 (rainy season), March 2000 (dry season), November 2000 (rainy season) and May 2001 (low rainy period). Mean values (minimum-maximum) of heavy metals were: Cu: 27,07 (2,31-75,46), Cd: 3,37 (0,46-7,9), Cr: 39,50 (3,98-98,28), Pb: 60,59 (17,8-143,9), V: 50,44 (1,29-121,2) y Ni: 65,31 (16,76-177,62) mg.Kg⁻¹. The metal concentrations present in sediments were in the following order: Ni>Pb>V>Cr>Cu>Cd. Metal concentration in sediments of Maracaibo Lake system, are similar to the aquatic systems with a high oil activity. Samples showed a clear tendency to higher values in the eastern area of Maracaibo Lake and lower value in the western zone.

Key words: Metals, Maracaibo Lake, sediment.

Distribución de metales pesados en sedimentos superficiales del Lago de Maracaibo (Venezuela)

Resumen

Se determinó en el sedimento superficial del Lago de Maracaibo los metales: Cu, Cd, Cr, Pb, V y Ni. El estudio abarcó 13 estaciones distribuidas en la Bahía El Tablazo, Estrecho de Maracaibo y Lago de Maracaibo propiamente dicho. Se realizaron un total de cuatro (4) muestreos desde 1999 a 2001, en los meses de octubre 1999 (lluvia), marzo 2000 (sequía), noviembre 2000 (lluvia) y mayo 2001 (final lluvia). Los niveles promedio (mínimo-máximo) de metales fluctuaron de la siguiente manera: Cu: 27,07 (2,31-75,46), Cd: 3,37 (0,46-7,9), Cr: 39,50 (3,98-98,28), Pb: 60,59 (17,8-143,9), V: 50,44 (1,29-121,2) y Ni: 65,31 (16,76-177,62) mg.Kg⁻¹. El orden de los metales según sus promedios generales fue: Ni > Pb > V > Cr > Cu > Cd. Las concentraciones de metales en sedimento del Sistema Lago de Maracaibo reportadas en este estudio son similares a las reportadas en sistemas acuáticos con alta actividad petrolera. A excepción del muestreo de octubre de 1999, con fuertes precipitaciones atípicas, el resto de los muestreos presentó una tendencia clara a valores altos en la zona oriental del lago y con valores bajos en la zona occidental.

Palabras clave: Metales, Lago de Maracaibo, sedimento.

Introducción

El Sistema Lago de Maracaibo se encuentra ubicado en el occidente de Venezuela, cubre todo el Estado Zulia, parte de los estados Falcón, Trujillo, Lara y Mérida y parte de la República de Colombia, entre los 70°30' y 73°24' de longitud oeste y entre los 08°22' y 11°51' de latitud norte. La cuenca hidrográfica del Sistema Lago de Maracaibo presenta una extensión de 89.756 Km², correspondiendo 12.013 km² al Lago de Maracaibo propiamente dicho y 1.090 km² al Estrecho y Bahía.

En la cuenca del Lago de Maracaibo, se pueden detectar diferentes fuentes de metales, desde las relacionadas con el uso de pesticidas y las descargas domésticas e industriales, hasta las actividades de la industria petrolera, la cual involucra además de la producción y transporte de crudo, la industria Petroquímica, el procesamiento de gas y la extracción de carbón en minas a cielo abierto. Las descargas industriales de líquidos y sólidos, contienen diversos contaminantes como metales pesados, de los cuales se conoce que pueden generar alteraciones desfavorables y causar gran preocupación al limitar el uso de sus aguas por el riesgo que representan para la salud pública y el efecto en las cadenas alimenticias [1-4].

El objetivo del presente estudio es identificar las áreas con un nivel crítico de contaminación por metales en el sedimento del Sistema Lago de Maracaibo, determinando las concentraciones y distribución de los metales pesados: V, Ni, Cr, Cd, Cu y Pb en el sedimento superficial del Estrecho, la Bahía El Tablazo y el Lago de Maracaibo.

Parte experimental

El estudio se realizó en 13 estaciones distribuidas en la Bahía El Tablazo, el Estrecho de Maracaibo y el Lago de Maracaibo propiamente dicho como se observa en la Figura 1. Se realizaron cuatro (4) muestreos desde 1999 a 2001, durante los meses de octubre 1999 (inicio lluvia alta), marzo 2000 (sequía alta), noviembre 2000 (lluvia alta) y mayo 2001 (lluvia baja), para un total de 52 muestras.

Las muestras de sedimento superficial fueron recolectadas utilizando una draga "Ekman", colocadas en bolsas plásticas negras y preserva-

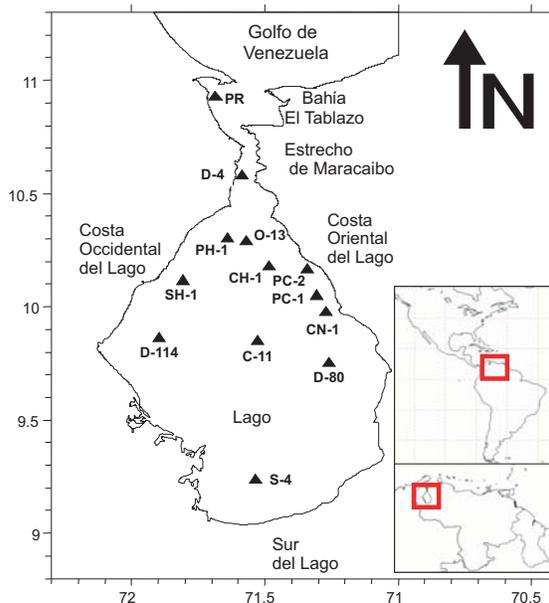


Figura 1. Localización geográfica de las estaciones en el Lago de Maracaibo, en relación al Golfo de Venezuela, Bahía El Tablazo, Estrecho de Maracaibo y el lago.

das a 4°C hasta su análisis en el laboratorio. Las muestras de sedimento fueron previamente congeladas a una temperatura menor de -4°C por un tiempo no menor a 12 h, o hasta que la muestra estuvo bien congelada, para luego secar la muestra por 5 horas en el liofilizador. Se pesaron 0,2 g de muestra liofilizada y se sometió a digestión con HNO₃ concentrado, en una Bombas de digestión tipo Parr y con calentamiento (130 ± 5°C) durante 2 horas.

El líquido resultante de la digestión se transfirió a un balón aforado de 25 mL y se aforo con agua destilada-desionizada. Las muestras fueron analizadas con un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA) VARIAN Spectra 400 Plus, equipado con un Horno de grafito VARIAN GTA-97. La concentración de metal fue analizada por horno de grafito (ETAAS) para V y por llama (FAAS) para el Cd, Cu, Cr, Ni y Pb. Se utilizó gas argón para el V (±2800°C) y mezcla aire/acetileno para Cd, Cu, Cr, Ni y Pb (2100-2400°C).

Las lámparas de cátodo hueco utilizadas fueron las siguientes (longitud de onda, slit): Ni: 232 nm, 0,2 nm; V: 318,4 nm, 0,5 nm; Pb: 217 nm, 1,0 nm; Cd: 288,8 nm, 0,7 nm; Cu: 324,8 nm, 0,5 nm y Cr 357,9 nm, 0,2 nm. Una muestra

de referencia (SL-1 y River 2704) fue regularmente analizada con el mismo método de digestión y análisis de metales para verificar la exactitud y precisión de los métodos.

Para el análisis de los resultados de concentración de los metales V, Ni, Cr, Cd, Cu y Pb en sedimento superficial se utilizó el paquete estadístico STAGRAPHIC Plus 5.1, ajustándose los resultados a la distribución normal a través de diferentes transformaciones matemáticas y evaluándose el ajuste a través de pruebas de skewness y kurtosis. Las transformaciones con las que se obtuvo mejor ajuste a la normalidad fueron: Cd, Cr y Ni, fueron transformadas a logaritmo; Cu y Pb fueron transformadas a raíz cuadrada y V fue utilizada sin transformación.

Debido a que se requería estudiar las relaciones de las variables concentración de metales en el tiempo y entre estaciones simultáneamente, se decidió utilizar de los análisis multivariados, el análisis de componentes principales, para determinar interpretaciones que no son posibles con estadística univariada [6]. La representación cartográfica de los diferentes Componente Principales extraídos se elaboró mediante el programa gráfico Surfer versión 7 empleando para la interpolación el método de "kriging", evaluándose los resultados con el uso de variogramas.

Resultados

Las concentraciones promedio (mínimo-máximo) de metales fluctuaron de la siguiente manera: Cu: $27,1 \pm 15,2$ (2,31-75,46), Cd: $3,4 \pm 1,8$ (0,46-7,9), Cr: $39,5 \pm 25,5$ (3,98-98,28), Pb: $60,6 \pm 20,7$ (17,8-143,9), V: $49,8 \pm 32,6$ (1,29-121,2) y Ni: $65,3 \pm 32,4$ (16,76-177,62). Las concentraciones de Cd y Pb correspondientes al muestreo de octubre 1999 (inicio lluvia alta) resultaron mayores que las obtenidas en resto de los muestreos (ANOVA, LSD, $p < 0,05$), mientras que la concentración promedio de Cr en el citado muestreo resultó ser la más baja para el estudio (ANOVA, LSD, $p < 0,05$) (Tabla 1).

En la estación D-114, ubicada en la zona occidental del Lago de Maracaibo, frente a Barranquitas (Municipio Cañada de Urdaneta), se encontraron los valores promedios más bajos de concentraciones de Cu, Cr, Pb, V y Ni (ANOVA, LSD, $p < 0,05$). Las concentraciones promedio más altas de Cu, V y Ni se reportaron en la estación O-13 (ANOVA, LSD, $p < 0,05$), mientras que las correspondientes al Cr, Cd y Pb se reportaron en las estaciones D-4, PC-1 y CH-1 (ANOVA, LSD, $p < 0,05$), estas últimas ubicadas en el Lago entre la entrada al Estrecho y la zona nororiental del Lago de Maracaibo.

Tabla 1

Características descriptivas de la concentración (mg.Kg^{-1}) de metales pesados en sedimento superficial de La Bahía El Tablazo, El Estrecho de Maracaibo y el Lago durante el estudio.

Promedio \pm SD (mínimo-máximo)

Metal	octubre 1999 (inicio lluvia alta)	marzo 2000 (sequía alta)	noviembre 2000 (lluvia alta)	mayo 2001 (lluvia baja)	ER-L, NOAA [7]
Cu	$32,6 \pm 13,1$ (7,1-59,5)	$31,5 \pm 21,1$ (10,36-75,46)	$22,1 \pm 11,3$ (2,31-33,72)	$22,1 \pm 11,5$ (4,18-39,63)	7
Cd	$5,7 \pm 1,5$ (2,4-7,9)	$2,1 \pm 0,8$ (0,46-3,15)	$2,2 \pm 0,8$ (0,61-3,75)	$3,5 \pm 0,8$ (2,09-5,00)	5
Cr	$22 \pm 11,5$ (7,7-41,4)	$47,9 \pm 24,1$ (8,1-98,09)	$44,4 \pm 28,7$ (6,29-98,28)	$43,8 \pm 28$ (3,98-94,28)	8
Pb	$74 \pm 25,8$ (38,9-143,9)	$50,9 \pm 15,9$ (28,67-83,2)	$56,7 \pm 20,1$ (17,8-87,23)	$60,7 \pm 13,5$ (36,19-82,37)	35
V	$73,9 \pm 25,9$ (26,3-121,2)	$58,5 \pm 22,6$ (16,8-84,47)	$5,7 \pm 2,3$ (1,29-8,91)	$61,3 \pm 19,4$ (23,63-95,37)	-
Ni	$52,2 \pm 19,1$ (27,2-87,6)	$72,6 \pm 46,9$ (27,68-177,62)	$67,3 \pm 28,2$ (16,76-126,61)	$69,2 \pm 28,8$ (35,34-138,93)	30

Las concentraciones de metales pesados reportadas en este estudio sobrepasan en numerosos casos los valores de riesgo relativo para sedimentos de ambientes marinos y estuarinos (ER-L, Environmental Response-Low), reportados por la NOAA (1990) [7], los cuales indican la concentración a la cual se obtiene una mortalidad en menos del 5% de las observaciones (baja respuesta ambiental, ER-L).

La concentración promedio por metal en el sedimento superficial del sistema del Lago de Maracaibo, para el estudio presenta el siguiente orden decreciente:

$$\text{Ni} > \text{Pb} > \text{V} > \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Cd}$$

De manera general, aunque se aprecian diferencias atribuibles al cambio entre estaciones, localidad y tiempo, las concentraciones reportadas en este estudio son similares a las reportadas anteriormente en el Lago para sedimentos lejanos a la costa, siendo mayor que las reportadas para el Golfo (Tabla 2). Las concentraciones de V y Ni encontradas en este estudio son similares o incluso mayores a las reportadas para zonas con alta explotación de crudo, como el Golfo de Arabia, zonas costeras del Golfo de México y costas de Kuwait (Tabla 2).

El análisis de la variación espacio-temporal en la concentración de los metales, a través del Análisis de Componentes Principales (ACP), permitió disminuir las dimensiones originales de la data, al extraer los componentes que explican una mayor variación (autovalor > 1,00), de 6 variables (Cd, Cu, Cr, Pb, V y Ni) a dos Componentes Principales, los cuales explican juntos un 71,64% de la variación total de la data. El Primer Componente extraído explica un 48,46% y el segundo Componente un 23,18% de la variación total de la data, explicando el resto de los componentes una variación menor.

La variabilidad en la concentración de los metales Cd, Pb y V se encuentra expresada en el componente 1, mientras que la variabilidad en la concentración de Ni y Cr, está más correlacionada con el Componente 2 (Tabla 3). Todas las variables fueron correlacionadas positivamente con su componente de manera significativa ($p < 0,01$), por lo que un aumento en el componente representa un aumento en la concentración de metal representado por ese eje [15].

En la Figura 2 se observa como la distribución de los metales en octubre 1999 es distinta a la observada para el resto de los muestreos realizados, así como las diferencias señaladas para la costa oriental y occidental del lago de Maracaibo. La estación PR, con un leve efecto indirecto del paso de embarcaciones en el canal de navegación, presentó valores bajos en la mayoría de los muestreos, a excepción del muestreo de octubre 1999, donde se obtuvieron valores extremadamente altos de V, Pb, Cd, motivado a las precipitaciones excesivas en la cuenca.

Las estaciones S-4, PC-2, CH-1, PC-1, CN-1, C-11 y S-4 presentaron valores altos únicamente en el componente 1, mientras que las estaciones D-4, O-13 y D-80, presentaron valores altos para ambos componentes. Los muestreos realizados en marzo 2000, noviembre 2000 y mayo 2001 presentaron una tendencia general a valores altos hacia la zona oriental del lago y con valores bajos hacia la costa occidental, observándose valores intermedios en la Bahía, el Estrecho y la zona sur (Figura 2).

Discusión de resultados

El alto porcentaje (> 80%) de observaciones por encima del ER-L [14] para la concentración de Cr, Cu, Pb y Ni, indica un riesgo potencial de los sedimentos del Sistema Lago de Maracaibo sobre los organismos bentónicos o consumidores del bentos. Los sedimentos funcionan como trampas temporales de metales, debido a que estos no permanecen fijos en el sedimento [17] y por cambios en las condiciones ambientales estos pueden ser liberados a la columna de agua, ser absorbidos por la fauna y por el hombre.

Las concentraciones de metales en sedimento superficial de este estudio son similares a las reportadas en estudios previos para zonas profundas del sistema o para otras zonas del mundo con alto potencial de explotación de crudo, como el Golfo de Arabia, zonas costeras del Golfo de México y costas de Kuwait, destacándose el impacto de las actividades de explotación de petróleo sobre las concentraciones de V y Ni en sedimentos del Sistema Lago de Maracaibo. En el Golfo de Venezuela, los valores son mucho más bajos que los reportados para la Bahía El Tablazo, Estrecho y el Lago de Maracaibo (Tabla 2).

Tabla 2
Comparación de la concentración de metales pesados encontrados actualmente
en el Lago de Maracaibo con estudios anteriores y otros sistemas

Sistema	Área	Cu	Pb	Cd	Cr	V	Ni	Referencia
Lago de Maracaibo	Bahía, Estrecho y Lago	2,31-75,46	17,80-143,90	0,46-7,90	3,98-98,28	1,29-121,20	16,76-177,62	Este estudio
	Estrecho y lago	-	2,0-382,2	0,16-8,2	-	6,5-146,61	<0,1-36,3	[8]
	Bahía, Estrecho y Lago	-	-	0,37-10	0,9-15	30,8-113,5	0,7-9,8	[9]
	Bahía, Estrecho y Lago	44	208	-	70	153	58	[10] valores máximos
	Frente a Cabimas y Lagunillas		<10-20		<100-200	10-500	2-50	[11]
Golfo de Venezuela	-	-	-	-	-	0,125-70,48	1,73-71,87	[12]
Golfo	Arabia	-	-	-	-	1,54-16,66	2,19-17,56	[13]
Costa marina	Kuwait	-	-	-	-	25-119		[14]
Zona costera	México	7,43-60,84	0,29-158,7	0,015-2,20	1,02-159,3	-	26,3-98,4	[15]

Tabla 3
Correlaciones establecidas en el ACP
entre las variables y los componentes
principales 1 y 2*

Metal	Componente 1	Componente 2
Cu	0,49	0,63
Cd	0,90	-0,19
Cr	-0,13	0,85
Pb	0,72	0,18
V	0,81	0,14
Ni	0,13	0,88

*En negrilla se muestran las variables correlacionadas significativamente con cada componente ($p < 0,05$).

Las altas precipitaciones ocurridas a finales del año 1999 originaron un transporte atípico de materiales desde la cuenca, particularmente por los ríos de la zona sur del Lago, incidiendo en las altas concentraciones de metales y en las diferencias observadas en la distribución de los metales entre el muestreo de octubre de 1999 y los reportados en el 2000 y el 2001. Los altos valores de V, Pb y Cd, reportados en octubre 1999 para las estaciones ubicadas en la Bahía El Tablazo (PR), zona nororiental del lago (O-13, CH-1, PC-1 y PC-2) y zona sur del lago (S-4), fueron afectadas directamente por las altas precipitaciones que ocasionaron un alto lavado y escorrentía de la cuencas del río Limón, los ríos de la costa nororiental del lago y de los ríos de la zona sur del lago, las cuales produjeron inundaciones en dife-

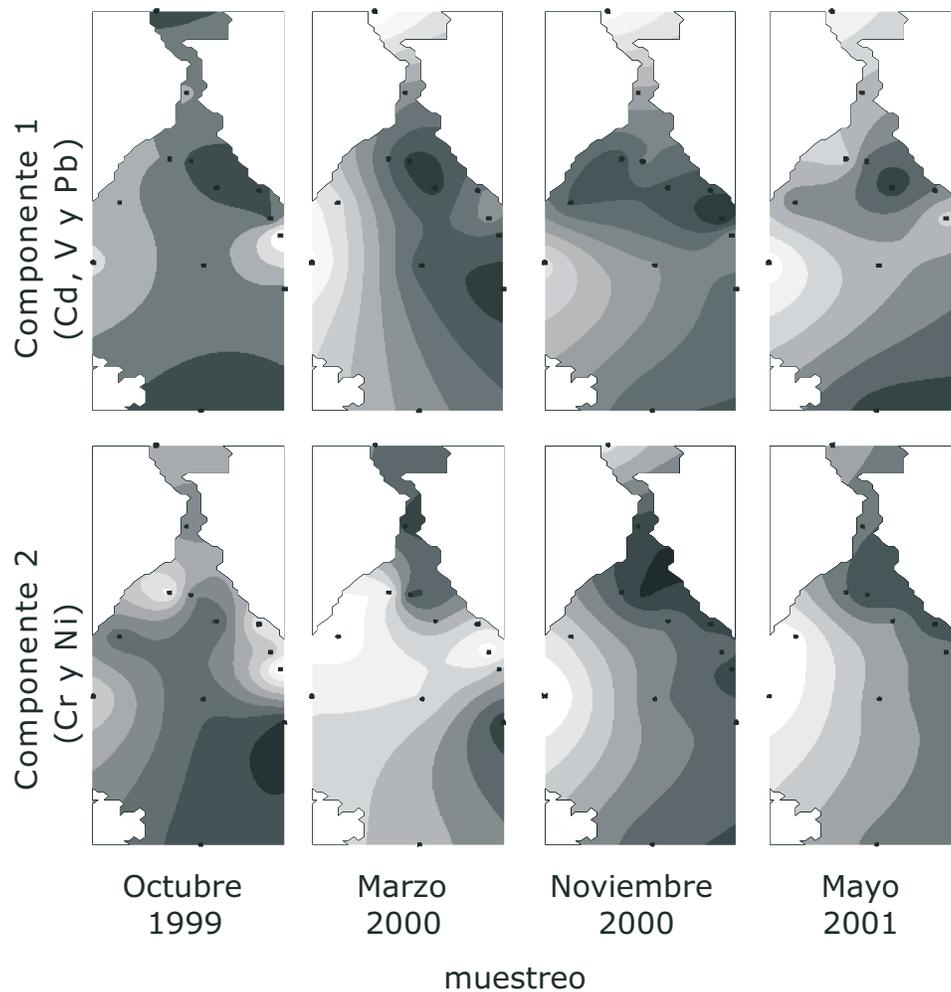


Figura 2. Distribución de los Componentes Principales 1 y 2 por muestreo. La intensidad del negro denota el valor establecido entre la concentración □ mínima y ■ máxima para cada metal.

rentes zonas de la cuenca incluyendo la zona norte en Paraguaipoa y la zona sur.

En zonas con actividad minera a cielo abierto, se han determinado altas concentraciones de los metales Cu, Ag, Pb, Zn, Na, K, Ca, Mg, Hg, As y V en los sistemas acuáticos cercanos [18, 19]. Algunos estudios reportan altas concentraciones de los metales Na, K, Ca, Mg, Hg y V en sedimento de ríos afectados por explotación de carbón en la cuenca, como el río Limón [20], el cual descarga cercano a la estación PR, explicando los altos valores de V, Pb y Cd en esta estación, particularmente durante el muestreo de octubre 1999 durante la ocurrencia de fuertes precipitaciones.

Los bajos valores de V, Pb, Cd, Cr y Ni en las estaciones ubicadas hacia la parte occidental del lago, en las estaciones PH-1, SH-1 y D-114, coinciden con lo reportado en estudios previos [8] y son atribuibles a la poca actividad industrial y petrolera en la zona, además de la baja densidad de los asentamientos urbanos en la costa occidental del lago en comparación a otras zonas [21]. Las estaciones D-4, O-13 y D-80 presentan los valores más altos para los metales evaluados, indicando el impacto de las descargas de importantes centros urbanos, industriales y petroleros, así como del Canal de Navegación, por el paso de transporte naval y actividades de dragado.

Así mismo, la deposición atmosférica de metales es otro factor importante a considerar en la distribución de los metales en sedimento de ambientes lacustres, estuarinos y costeros, como en el caso del Pb, el cual es principalmente producido por la quema de combustibles fósiles (parque automotor, generación de electricidad) [15, 22].

El fondo del Lago de Maracaibo se encuentra cubierto por sedimentos provenientes de fuentes variadas, tales como el transportado desde la cuenca por los ríos, el erosionado desde la línea de costa; el introducido desde la atmósfera y el transportados desde otras zonas del mismo sistema por las corrientes entre otros; este último particularmente importante si se considera la movilización de los sedimentos por actividades de dragado del canal o el transporte por las corrientes desde el sur del Lago, factor importante en estudios posteriores.

Conclusiones

Las concentraciones de los metales Ni, V, Cr, Cd, Cu y Pb en sedimento superficial de la Bahía, El Estrecho y el Lago determinadas en este estudio son similares a las reportadas previamente en la zona o en sistemas acuáticos con alta actividad petrolera, pero menores a las reportadas para la costa del Golfo de Venezuela, siendo las altas precipitaciones atípicas un factor determinante en la distribución horizontal de los metales evaluados.

Las estaciones ubicadas en la costa occidental del Lago, principalmente la estación D-114, presentaron bajos valores de los metales evaluados, detectándose las mayores concentraciones en las estaciones D-4, O-13 y D-80, lo que está relacionado con las actividades urbanas e industriales en la cuenca y la ubicación del Canal de Navegación.

Agradecimientos

Al Instituto para el Control y la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM). A Enrique Ochoa, Gonzalo Godoy, José Pirela y Federico Troncone por comentarios a escritos preliminares.

Referencias bibliográficas

1. Aloupi, M. and Angeli M.: "The significance of coarse sediments in metal pollution studies in the coastal zone". *Wat. Air and Soil Poll.* Vol. 133 (2002) 121-131.
2. Barca L. "Determinación de Mercurio, Plomo y Zinc en agua y sedimentos en el estrecho del Lago de Maracaibo". Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería, LUZ (1989).
3. Botello L.: "Uso de los sedimentos como indicadores de la contaminación marina". Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional de México (1986).
4. Kennish M.: "Trace metal-sediment dynamics in Estuaries: Pollution Assessment. *Rev. Env. Contam. and Toxicol.* Vol 155 (1998) 69-110.
5. APHA, AWWA and WPCF.: "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater". U.S.A. (1997).

6. Frances J. & McCulloch M. Multivariate analysis in ecology and systematic: Panacea or Pandora box. *Annual Review Ecological Systematic* 21:129-166 (1990).
7. NOAA.: "The potential for biological Effects of sediment-Sorbed Contaminants Tested in the National Status and Trends Program". Technical Memorandum NOS, OMA 52 (1990).
8. Esclaples M. y Galindo I.: "Calidad de los sedimentos del Lago de Maracaibo". En: Rodríguez G. (Ed.). "El Sistema de Maracaibo". IVIC (2000).
9. Colina M.: "Determination of nutrients and heavy metal species in samples from Lake Maracaibo". Sheffiel Hallam University. Thesis for degree Philosophy Doctor (2001).
10. Benzo D.: "Estudio ambiental de la distribución granulométrica de metales pesados en sedimentos del Lago de Maracaibo". Tesis de Grado. U.C.V., Facultad de Ciencias (2001).
11. Parra-Pardi, G.: "Estudio Integral Sobre la Contaminación del Lago de Maracaibo y sus Afluentes". En Parra-Pardi (Ed.): "Parte II. Evaluación del Proceso de Eutroficación". MARNR, (1979).
12. Avila H., Morales N., Sánquiz M., Arévalo K., Sánchez D., Araujo M.: "Niveles de Vanadio y Níquel en agua y sedimento superficial de la costa suroccidental del Golfo de Venezuela". En: Memorias del Primer Congreso Internacional de la Cuenca del Lago de Maracaibo. Venezuela, (2006) 143-144.
13. Sadiq M., Alam A. and AL-Mohama H.: "Bioaccumulation of Nickel and Vanadium by clams (*Meretrix meretrix*) living in different salinities along the Saudi coast of the Arabian Gulf". *Envi. Poll.* Vol 76 (1992) 225-231.
14. Metwally M., AL-Muzaini S., Jacob P., Bahloul M., Urushigawa Y., Sato S. and Matsumura A.: "Petroleum hydrocarbons and related heavy metals in the near-shore marine sediments of Kuwait". *Envi. Int.* Vol 23 (1997) 115-121.
15. Villanueva S. y Botello A.: "Metal pollution in coastal areas of México". *Rev. Environ. Contam. Toxiol.* Vol 157 (1998) 53-94.
16. Pla L.: "Análisis multivariado: método de Componentes principales". En OEA. (Ed): Serie de matemática (1986).
17. Bautista S.: "Proceso de salinización en el Lago de Maracaibo". ICLAM, Venezuela (1997).
18. Minear R. And Tschantz B.: "The effect of coal surface mining on the water quality of mountain drainage basin streams". *Journal WPCF.* Vol 48 (1976) 2549-2569.
19. AFS.: "Effects of surface Mining on Aquatic Resources in North America. Fisheries". AFS Water Quality Section. Vol 13 (1988) 19-22.
20. Oliveros S.: "Evaluación del contenido de Na, K, Ca, Mg, Pb, Hg y V en muestras de agua y sedimentos en la Laguna de Sinamaica y zonas adyacentes". Tesis de Grado, L.U.Z., Facultad de Ingeniería (1996).
21. Rodríguez G.: "El Manejo de los recursos del Sistema de Maracaibo". En: Rodríguez G. (Ed.): "El Sistema de Maracaibo". IVIC (2000).
22. Rognerud S. and Fjeld E.: "National Survey of heavy metals in lake sediments and Mercury in fish". Rapport 426/90. Norsk institutt for vannforskning (1991).

Recibido el 30 de Julio de 2009

En forma revisada el 3 de Mayo de 2010