



REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

DIAGNÓSTICO DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN SEDIMENTO SUPERFICIAL DE LA LAGUNA DE TÉRMINOS, CAMPECHE: UNA APROXIMACIÓN ESTADÍSTICA

*Yunuén Canedo-López¹
Alejandro Ruiz-Marín²
José Carmito Chi-Ayil³

*DIAGNOSIS OF HEAVY METAL POLLUTION IN SURFACE
SEDIMENT OF TERMINOS LAGOON, CAMPECHE: A
STATISTICAL APPROACH*

Recibido el 2 de septiembre de 2013; Aceptado el 28 de mayo de 2014

Abstract

The levels of heavy metals in sediments of Terminos Lagoon, one of the largest coastal lagoons and of great ecological importance of Mexico, were evaluated; the analysis of heavy metals included geochemical approaches (normalization) and multivariate statistics. Sediment samples were collected at 45 sites in October 2010; digestion was accomplished according to the 3050B method of the Environmental Protection Agency of the United States and quantification was performed by inductively coupled plasma mass spectrometry. Additionally, organic matter content and particle size distribution were determined. The heavy metal concentrations found in this study are relatively low and similar to those reported previously. The spatial distribution of several of the metals analyzed here is probably influenced by the rivers discharge, especially for B, Ba, Co, Mn, Ni and Zn. Significant positive correlations between elements used as normalizers (organic matter content, silt and Fe) indicated that concentrations of most metals analyzed here can be explained by natural biogeochemical processes, except As and Mg. Principal Component Analysis indicated that some of the stations near of the Atasta lagoon mouth, Chumpán River and Palizada River, have higher concentrations ranges in comparison to the local background and therefore are considered vulnerable sites to heavy metal pollution.

Key Words: coastal lagoon, heavy metal, sediment.

¹ Dependencia Académica de Ciencias Químicas y Petrolera, Universidad Autónoma del Carmen, Méxicio.

*Autor correspondal: Calle 56 No. 4 Esq. Av. Concordia, Col. Benito Juárez. C.P. 24180, Cd. del Carmen, Campeche, México.
Email: ycanedo@pampano.unacar.mx

Resumen

Se evaluaron los niveles de metales pesados en sedimentos de la Laguna de Términos, una de las lagunas costeras más grandes de México y de gran importancia ecológica; para el análisis de metales pesados se emplearon aproximaciones geoquímicas (normalización) y estadística multivariada. Muestras de sedimento fueron recolectadas en 45 sitios en octubre del 2010; la digestión se realizó según el método 3050B de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y la cuantificación se realizó por espectrometría de plasma inducido. Adicionalmente, se determinó el contenido de materia orgánica y la granulometría. Las concentraciones de metales pesados encontradas en este trabajo son relativamente bajas y similares a las reportadas anteriormente. La distribución espacial de varios de los metales analizados parece estar influenciada por las descargas de ríos, en particular para B, Ba, Co, Mn, Ni y Zn. Las correlaciones positivas significativas entre los elementos usados como normalizadores (contenido de materia orgánica, limo y Fe) indican que las concentraciones de la mayoría de los metales analizados se pueden explicar por procesos biogeoquímicos naturales, con excepción de As y Mg. El análisis de Componentes Principales indicó que algunas de las estaciones cercanas a la boca de la Laguna de Atasta, río Chumpán y río Palizada, presentan concentraciones más allá de los rangos de fondo locales y por lo tanto se consideran sitios vulnerables a la contaminación por metales pesados.

Palabras clave: laguna costera, metales pesados, sedimentos.

Introducción

Las lagunas costeras y estuarios de México están sometidos, desde hace varios años, a la presión que el hombre ejerce sobre ellos al depositar directa o indirectamente sus desechos tanto urbanos como industriales, contribuyendo así al deterioro ecológico. Los metales pesados son uno de los grupos de contaminantes que con gran facilidad alcanzan la zona costera y perturban el equilibrio ahí existente, poniendo en riesgo la salud del ecosistema. La preocupación en relación a los elementos metálicos potencialmente tóxicos es su posible combinación con compuestos orgánicos presentes en los sedimentos costeros y su ingreso a las cadenas alimentarias donde pueden ocurrir procesos de bioconcentración y bioacumulación, e incluso para ciertos metales como el Cd, Hg y Zn, biomagnificación (Ikemoto et al., 2008; Barwick y Maher, 2003; Cui et al., 2011).

Los sedimentos de un sistema acuático reflejan la calidad ambiental del agua, así como las variaciones temporales de ciertos parámetros hidrológicos y químicos. Los depósitos sedimentarios son importantes en la identificación, monitoreo y distribución de metales contaminantes, debido a que estos son fijados en sedimentos por arcillas, óxidos hidratados de Fe, Mn y Al, carbonatos y materia orgánica (Pineda, 2009). Bajo este escenario los sedimentos, uno de los principales reservorios de estos elementos, actúan como recursos de contaminación en el medio ambiente marino, y guardan una relación de su concentración con el tamaño de la partícula y cantidad de materia orgánica sedimentaria, alterando el equilibrio ecológico y biogeoquímico del ecosistema.

La Laguna de Términos es una de las lagunas costeras más grandes de México que por su importancia ecológica ha sido declarada Área de Protección de Flora y Fauna; sin embargo, se encuentra localizada en una región donde confluyen diversas actividades antropogénicas, las cuales aportan diversos contaminantes. Este trabajo tiene como objetivo evaluar los niveles y distribución de metales pesados en el sedimento de la laguna a través de aproximaciones geoquímicas (normalización) y estadística multivariada.

Metodología

Área de estudio

La Laguna de Términos se localiza en la costa del Golfo de México, específicamente en el Golfo de Campeche, al suroeste de la península de Yucatán, en las coordenadas 18°37'0" Norte y 91°33'0" Oeste (Figura 1). Presenta una superficie de 2007 km², con una profundidad promedio de 3 m; limita al norte con la isla del Carmen que tiene una superficie de 153 km², longitud de 36 km y 7.5 km en su parte más ancha. La Laguna tiene dos bocas que la comunican de manera permanente con el Golfo de México: Boca de Puerto Real y Boca del Carmen. El intercambio de agua y la actividad de la marea tienen lugar en ambas bocas y renuevan 50% del volumen de agua cada nueve días (Yañez-Arancibia *et al.*, 1983).

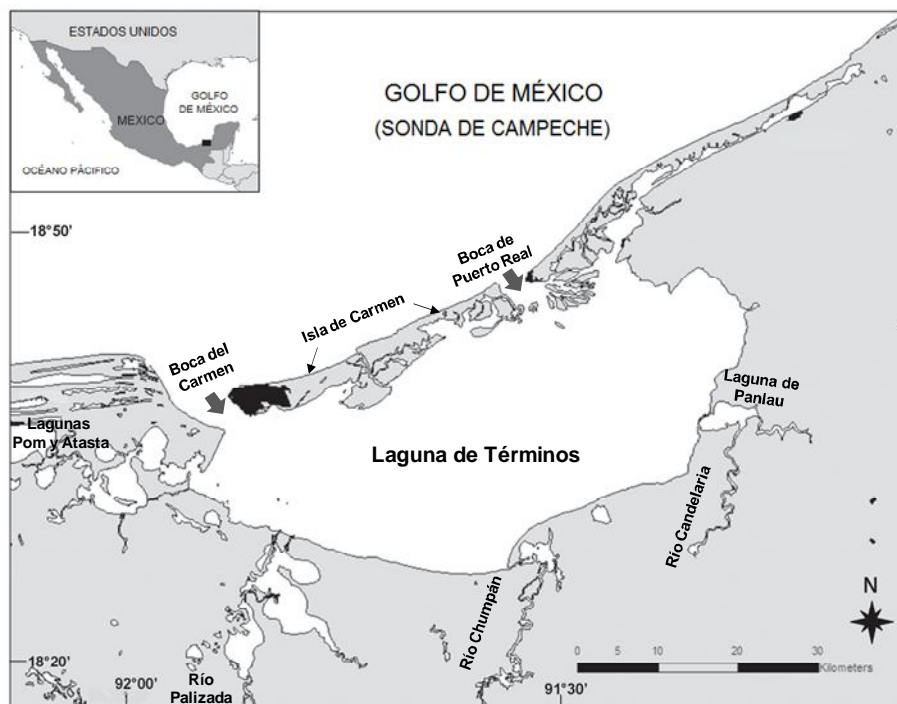


Figura 1. Localización de la Laguna de Términos, Campeche

Métodos de campo y laboratorio

Sedimentos superficiales (3 cm superiores) fueron recolectados en 45 sitios en octubre del 2010 (Figura 2) a bordo de una embarcación menor con motor fuera de borda utilizando una draga Van Veen. El sedimento fue colocado en bolsas de polietileno de la marca Ziploc con cierre hermético mediante una espátula de teflón. Las muestras fueron congeladas hasta el momento de su análisis. El sedimento fue secado mediante una liofilizadora marca LABCONCO modelo Freezone 6. Posteriormente, los grumos fueron desagregados empleando mortero y pistilo de porcelana de acuerdo con lo descrito por Gargouri et al. (2010) y de cada muestra, se tomó la cantidad de sedimento necesaria para determinar el contenido de metales, materia orgánica y granulometría. Los sedimentos secos fueron digeridos en medio ácido de acuerdo con el método 3050B del protocolo SW-846 de la Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA, 1996). Todo el material empleado para el análisis de metales pesados fue lavado previamente según la Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994. La determinación analítica de los metales se realizó mediante un espectrómetro de plasma inducido marca Thermo scientific modelo ICAP 6000 Series. Previamente se realizó una curva de calibración multielemental de cinco puntos, para lo cual se emplearon los estándares de calibración ICP-MCS-1 (con los elementos As, Be, B, Cd, Pb, Mn, Se y Zn) e ICP-MCS-2 (con los elementos Ba, Ca, Co, Fe, Mg, Ni, Si y V) de la marca High-Purity Standards. Así mismo, se empleó una solución de Material Certificado de Referencia (CRM-ES, marca High-Purity Standards) para asegurar la calidad de las mediciones. El límite de detección para cada metal se estimó como tres veces la desviación estándar del blanco de procedimiento.

Adicionalmente, se determinó el contenido de materia orgánica (MO) por el método de pérdida de peso por ignición (LOI, por sus siglas en inglés) descrito por Heiri *et al.* (2001) y la granulometría de los sedimentos por la técnica del hidrómetro de escala Boyoucos (Rodríguez y Rodríguez, 2002).

Resultados y discusión

Como resultado del análisis del Material Certificado de Referencia se encontró que para la mayoría de los metales analizados se obtuvieron concentraciones dentro de los valores certificados, a excepción del Cd, para el cual se obtuvo un valor considerablemente elevado con respecto a la referencia, motivo por el cual no se tomó en cuenta en los análisis estadísticos realizados posteriormente. Los límites de detección del método para los metales medidos fueron (en $\mu\text{g g}^{-1}$): 0.047 (As), 0.074 (B), 0.18 (Ba), 0.072 (Be), 0.038 (Co), 0.14 (Fe), 0.43 (Mg), 0.077 (Mn), 0.28 (Ni), 0.085 (Pb), 0.26 (Se), 0.17 (Si), 0.19 (V) y 0.18 (Zn).

En la Tabla 1 se muestran algunos estadísticos descriptivos calculados a partir de la concentración de metales en sedimento, así como el porcentaje de muestras en las cuales se logró detectar la presencia de los metales (porcentaje de detección).

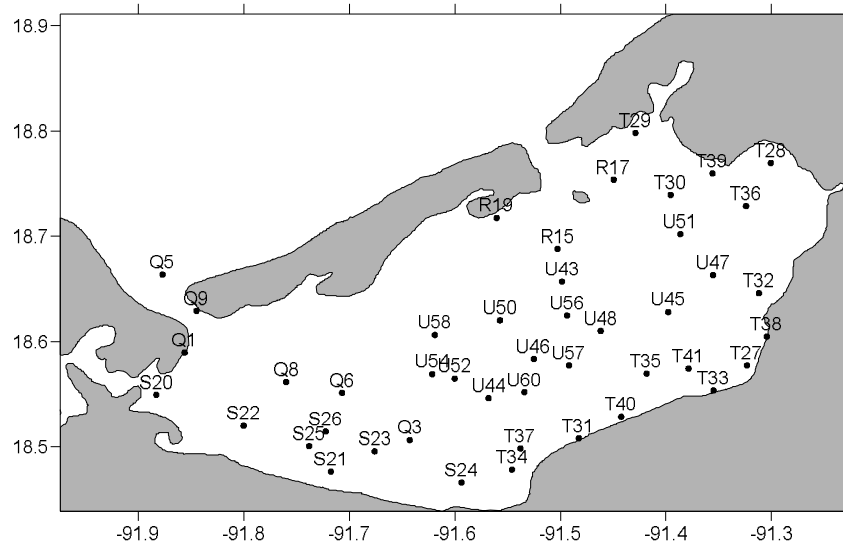


Figura 2. Ubicación espacial de los sitios de muestreo

Una primera aproximación en la evaluación de los metales pesados en el sedimento de la Laguna de Términos fue la comparación de las concentraciones encontradas con valores de las guías de calidad de sedimento. Debido a que la legislación mexicana no contempla valores de referencia para este tipo de matriz ambiental, se empleó la guía desarrollada por la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos (Long y Morgan, 1990), la cual considera nueve metales (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Sr y Zn), de los cuales cuatro se midieron en este estudio. De acuerdo con esta guía, As, Pb y Zn, no sobrepasan el Nivel de Rango Medio (ERM, por sus siglas en inglés) que es la concentración por arriba de la cual efectos adversos frecuentemente ocurren, en ninguna de las estaciones analizadas. Para el caso del Ni, únicamente la estación S20 sobrepasa el ERM. Esta estación se localiza en la boca de la Laguna Pom, en la parte oeste de la Laguna de Términos.

Existen pocos trabajos que reporten concentraciones de metales pesados para esta región de estudio. Ponce-Vélez y Botello (1991) reportaron concentraciones en sedimento y ostión; de los metales que se midieron en común en sedimento, Ni y Zn presentaron concentraciones promedio similares, mientras que para Pb las concentraciones encontradas en este trabajo son ligeramente menores. Sastre-Conde *et al.* (2003) presentaron resultados para el sedimento del sistema Fluvio-lagunar Pom-Atasta, el cual se encuentra conectado con la Laguna de Términos en la parte oeste; de acuerdo a este estudio, las concentraciones de la mayoría de los metales analizados (Zn, Mn y Pb) son mayores dentro de las Lagunas Pom y Atasta, a excepción del Ni que presentó concentraciones similares. Recientemente Aguilar *et al.* (2012) midieron las concentraciones de metales en sedimento de algunos de los ríos que desembocan a la Laguna

de Términos, es decir, los ríos Candelaria, Chumpán y Palizada; las concentraciones reportadas para estos ríos son similares a las encontradas en la Laguna de Términos en este trabajo, con excepción del V, en cual no se detectó en la Laguna (este trabajo) y en los ríos presenta concentraciones cercanas a $5 \mu\text{g g}^{-1}$.

Tabla 1. Estadística descriptiva de las concentraciones de metales ($\mu\text{g g}^{-1}$) en sedimentos de la Laguna de Términos

Metal	N	Media	Mediana	Mín.	Máx.	Cuartil inferior	Cuartil superior	Desv. Est.	Mediana desv. abs (MAD)	Detección (%)
As	45	0.19	nd	nd	2.08	nd	nd	0.44	nd	22
B	45	17.66	15.55	nd	53.51	5.74	24.10	14.56	9.81	93
Ba	45	9.63	9.45	nd	28.41	3.37	13.76	7.68	4.76	80
Be	45	0.03	nd	nd	0.39	nd	nd	0.09	nd	13
Co	45	1.84	1.44	nd	7.43	0.17	2.82	1.81	1.38	76
Fe	45	806.21	311.30	92.90	4184.66	208.18	465.17	1162.30	135.57	100
Mg	45	5.59	nd	nd	30.58	nd	nd	10.17	nd	24
Mn	45	47.39	29.89	4.58	278.63	11.03	53.99	55.53	20.70	100
Ni	45	20.08	18.98	nd	56.45	7.47	28.90	14.29	11.51	93
Pb	45	0.70	0.20	nd	5.35	nd	0.87	1.18	0.20	56
Se	45	0.005	nd	nd	0.18	nd	nd	0.03	nd	2
Si	45	7.42	1.40	nd	105.83	0.07	4.33	17.65	1.40	76
V	45	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Zn	45	11.56	10.86	0.84	31.92	3.96	17.03	7.95	6.90	100

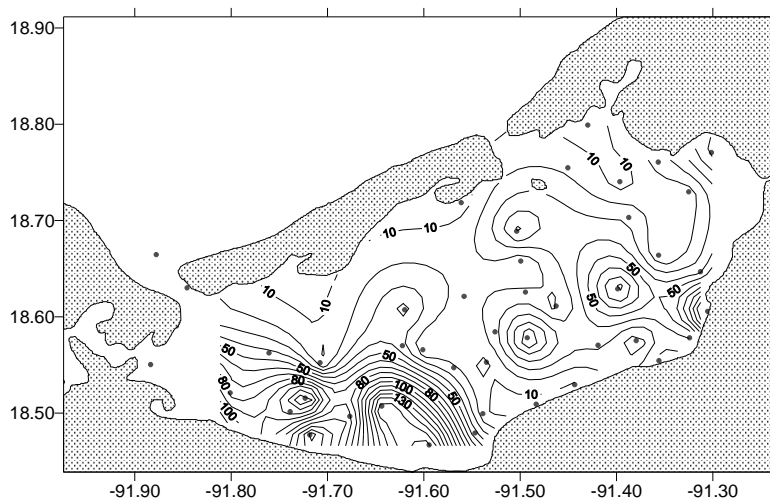


Figura 3. Distribución espacial de Manganese (Mn) en sedimento de la Laguna de Términos. Concentraciones en $\mu\text{g g}^{-1}$

En lo que se refiere a la distribución espacial, seis de los metales analizados (B, Ba, Co, Mn, Ni y Zn) presentaron un patrón muy similar, con las concentraciones más elevadas en la parte suroeste del área de estudio y probablemente relacionadas con la desembocadura de los ríos Chumpán y Palizada. Como ejemplo, se muestra la distribución del Mn (Figura 3). Los metales V, Se y Be se detectaron en un reducido porcentaje de las estaciones analizadas (0 a 13%) y en concentraciones cercanas a cero.

Los porcentajes de materia orgánica en el sedimento oscilaron entre 2.3 y 16.7%, mientras que la mediana fue 11.25%. Especialmente, las mayores concentraciones de materia orgánica se presentaron cerca de las desembocaduras de los ríos Palizada y Chumpán al suroeste, y del río Candelaria al este.

En relación con la textura del sedimento, la arcilla fue la fracción menos abundante con una mediana de 6.1%; la arena fue la segunda fracción en abundancia con una mediana de 28% y el limo representó la fracción más abundante con una mediana de 66.2%.

Debido a que el sedimento actúa como sumidero de metales pesados, tanto de fuentes naturales como antropogénicas, es necesario aislar las dos proporciones para establecer los niveles de contaminación de manera adecuada. Para tal efecto se ha empleado la normalización con diversos constituyentes sedimentarios, entre ellos los minerales arcillosos, el hierro y los oxihidróxidos de hierro y manganeso y materia orgánica (Loring, 1991). En este trabajo se empleó el contenido de materia orgánica, el limo y hierro para normalizar la concentración de los metales, para lo cual se realizaron análisis de correlación de Spearman. La mayoría de los metales analizados (B, Ba, Co, Mn, Ni, Pb y Zn) presentaron correlaciones significativas con los tres normalizadores (materia orgánica, limo y hierro) ($p \leq 0.05$), lo que indica que sus concentraciones se pueden explicar por procesos biogeoquímicos naturales. El Be, Se y Si mostraron correlación positiva con el Fe. El As y Mg no mostraron correlación alguna con ninguno de los normalizadores analizados, lo que podría indicar una mayor influencia antropogénica.

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP), el cual es un método multivariado usado principalmente para la reducción de datos. Su objetivo es encontrar unos pocos componentes que expliquen la mayor variación en los datos. Cada componente es una combinación lineal ponderada de las variables originales. Ya que el ACP analiza diversas variables simultáneamente, es adecuado para el análisis del sedimento, donde cada muestra contiene la concentración de varias variables (Danielsson *et al.*, 1999). Como resultado de este análisis encontramos que el Primer Componente principal (CP-1) explicó el 44.3% de la varianza y estuvo relacionado principalmente con metales que se relacionaron positivamente con los normalizadores empleados en este trabajo (B, Ba, Co, Mn, Si y Zn). El CP-2 que explicó el 17.7% de la varianza, también se relacionó en este tipo de metales (Ni, Zn) además de la materia

orgánica y el limo. Sólo el CP-3 (que explicó el 10.4% de la varianza) se relacionó con metales que no respondieron bien ante los normalizadores (Be y Si). Partiendo de lo anterior podemos concluir que la mayor parte de la variación de la distribución de metales está relacionada con elementos que no tienen relación con enriquecimiento antropogénico y sólo una pequeña parte de la variación se relaciona con elementos influenciados por actividades humanas.

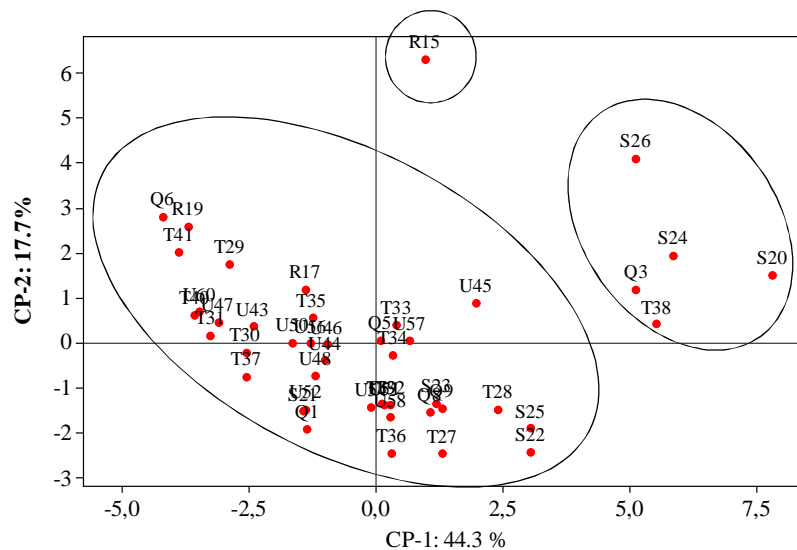


Figura 4. Proyección de las estaciones en espacio de ordenación por grupos, generado por un ACP a partir de los metales pesados y las características de los sedimentos de la Laguna de Términos

La proyección de los sitios de muestreo en el espacio de ordenación generado por el CP-1 y CP-2 (Figura 4) muestra la formación de dos grupos de estaciones. Un primer grupo se forma con las estaciones T38, Q3, S20, S24, y S26, las cuales se encuentran ubicadas cerca de las bocas de los ríos Palizada, Chumpán y de las Lagunas de Panlau y Atasta y constituyen sitios con las concentraciones más elevadas de muchos de los metales medidos; son estaciones que tienen concentraciones más allá de los rangos de fondo locales. La concentración de fondo de un elemento traza en los sedimentos del lecho se define como la concentración que es el resultado de procesos naturales, incluyendo el intemperismo y la consiguiente erosión del suelo y la roca madre local y la depositación atmosférica inafectada por la actividad antropogénica (Rice, 1999). Usualmente la concentración de fondo se define por comparación directa con valores de referencia considerados “valores límpios”, los cuales pueden ser tomados de áreas prístinas o núcleos de sedimento profundos (Cobelo-García, 2003; Singh et al., 2003). En este estudio, en ausencia de valores de fondo locales, el rango de fondo local se estimó estadísticamente mediante el intervalo formado por la mediana \pm 2 medianas de las desviaciones absolutas (MDA), como lo proponen Devesa-Rey et al. (2009). Por otro lado, el segundo grupo se forma

con el resto de las estaciones, las cuales presentaron concentraciones de moderadas a bajas para la mayoría de los metales analizados. La estación R15 se encuentra separada de ambos grupos en el espacio de ordenación, y geográficamente se localiza al interior de la laguna, cerca de la boca de Puerto Real. Esta estación se asoció con las concentraciones más elevadas de As y Si.

Conclusiones

Las concentraciones de metales pesados registradas en este trabajo son similares a las reportadas anteriormente para esta región y no sobrepasan el Nivel de Rango Medio (ERM) que es la concentración por arriba de la cual efectos adversos ocurren frecuentemente, de acuerdo con guías de calidad de sedimentos internacionales (Long y Morgan, 1990). Las correlaciones positivas significativas entre los elementos usados como normalizadores (contenido de materia orgánica, limo y Fe) indican que las concentraciones de la mayoría de los metales analizados se pueden explicar por procesos biogeoquímicos naturales, con excepción de As y Mg.

El análisis de componentes principales establece que las estaciones Q3, S20, S24, S26 y T38, localizadas cerca de la boca de la Laguna de Atasta y de la desembocadura de los ríos Chumpán y Palizada, forman un grupo de estaciones que, aunque no rebasan el ERM, presentan concentraciones por arriba de los rangos de fondo locales. Lo anterior sugiere una influencia de estos subsistemas en la distribución de metales dentro de la Laguna de Términos, en especial para B, Ba, Co, Mn, Ni y Zn. Por otro lado, el hecho de que no se advierta un aumento en la concentración de metales pesados a lo largo del tiempo, parece indicar que la dinámica hidrogeoquímica dentro de la laguna es lo suficientemente alta para movilizar y redistribuir los sedimentos de manera eficiente; sin embargo, son necesarias investigaciones más a fondo enfocadas al estudio de esta dinámica.

Agradecimientos.

Agradecemos a la Dra. Virginia García Ríos, por las facilidades prestadas para la realización del muestreo como parte del proyecto "Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem Project".

Referencias bibliográficas

- Aguilar, C.A., Montalvo, C., Rodríguez, L., Cerón, J.G. and Cerón, R.M. (2012) American oyster (*Crassostrea virginica*) and sediments as a coastal zone pollution monitor by heavy metals. *International Journal of Environmental Science and Technology*, **9**(4), 579–586.
- Barwick, M. and Maher, W. (2003) Biotransference and biomagnification of selenium copper, cadmium, zinc, arsenic and lead in a temperate seagrass ecosystem from Lake Macquarie Estuary, NSW, Australia. *Marine Environmental Research*, **56**(4), 471–502.

- Cobelo-García, A. (2003) Heavy metal sedimentary record in a Galician Ria (NW Spain): background values and recent contamination. *Marine Pollution Bulletin*, **46**(10), 1253–1262.
- Cui, B., Zhang, Q., Zhang, K., Liu, X. and Zhang, H. (2011) Analyzing trophic transfer of heavy metals for food webs in the newly-formed wetlands of the Yellow River Delta, China. *Environmental Pollution*, **159**(5), 1297–1306.
- Danielsson, A., Cato, I., Garman, R. and Rahm L. (1999) Spatial clustering of metals in the sediments of the Skagerrak/Kattegat. *Appl. Geochem.*, **14**(6), 689-706.
- Devesa-Rey, R., Díaz-Fierros, F. and Barral, M.T. (2009) Normalization strategies for river bed sediments: A graphical approach. *Microchemical Journal*, **91**(2), 253–265.
- EPA. (1996) Acid digestion of sediments, sludges and soils (Method 3050B). Revision 2, 1–12.
- Gargouri, D., Azri, C., Serbaji, M.M., Jedoui, Y., Montacer, M. (2010) Heavy metal concentrations in the surface marine sediments of Sfax Coast, Tunisia. *Environmental Monitoring and Assessment*, **175**(1-4), 519–530.
- Heiri, O., Lotter, A. and Lemcke, G. (2001) Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, **25**(1), 101–110.
- Ikemoto, T., Tu, N.P.C., Okuda, N., Iwata, A., Omori, K., Tanabe, S., Tuyen, B.C. and Takeuchi, I. (2008) Biomagnification of Trace Elements in the Aquatic Food Web in the Mekong Delta, South Vietnam Using Stable Carbon and Nitrogen Isotope Analysis. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **54**(3), 504–515.
- Long, E.R. and Morgan, L.G. (1990) The potential of biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program. *NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52*, National Oceanic and Atmospheric Administration. Seattle, Washington.
- Loring, D.H. (1991) Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments. *ICES. J. Mar. Sci.*, **48**(1), 101–105.
- Pineda, V. (2009) Granulometría y geoquímica de los sedimentos marinos en el área comprendida entre el Seno Reloncaví y Golfo Corcovado, Chile. Crucero Cimar 10 Fiordos. *Ciencia y Tecnología del Mar*, **32**, 27-47.
- Ponce-Vélez, G. y Botello A. (1991) Aspectos geoquímicos y de contaminación por metales pesados en la Laguna de Términos, Campeche. *Hidrobiológica*, **1**, 1-10.
- Rice, K.C. (1999) Trace-Element Concentrations in Streambed Sediment Across the Conterminous United States. *Environmental Science & Technology*, **33**(15), 2499–2504.
- Rodríguez, H. y Rodríguez, J. (2002) Métodos de análisis de suelos y plantas (Criterios de Interpretación). Análisis Granulométrico (Textura), Editorial trillas, UANL, p. 123-131.
- Sastre-Conde, I, Reyes-Fernández, Z.E., Cancino-Contreras, R.C., Rejón-Lorenzo, L., Santoyo-Velázquez, M.E., Sabido-Pérez, M.Y., Ruiz-Marín, A. and González-Oreja J.A. (2003) In: Pellei M. and Porta A. (Eds.), Remediation of Contaminated Sediments. *Proceedings of the Second International Conference on Remediation of Contaminated Sediments* (Venice, Italy; 30 Sep–3 Oct 2003). Battelle Press, Columbus, OH.
- Singh, M., Müller, G. and Singh, I. (2003) Geogenic distribution and baseline concentration of heavy metals in sediments of the Ganges River, India. *Journal of Geochemical Exploration*, **80**(1), 1–17.
- Yañez-Arancibia, A., Lara-Dominguez, A.L. and Flores-Hernández, D. (1983) Environmental Behavior of Terminos Lagoon ecological system, Campeche, México. *AN. INST. CIENC. DEL MAR Y LIMNOL. UNIV. NAL. AUTÓN. MEXICO* 1.