

***EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN SEDIMENTOS
OBJETO DE DRAGADO EN EL RECINTO PORTUARIO DE LA
BAHÍA DE CIENFUEGOS (CUBA)***

***POLLUTION ASSESSMENT IN DREDGING SEDIMENT FROM HARBOR
AREAS OF THE CIENFUEGOS BAY (CUBA)***

Anabell Pulido Caraballé^{1}, Misael Díaz-Asencio¹, Lisbet Díaz-Asencio¹
y Carlos Alonso Hernández¹*

¹ Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, Carretera a Castillo de Jagua, Km 1 ½, Ciudad Nuclear, Cienfuegos, Cuba.

Recibido: Noviembre 18, 2015; Revisado: Diciembre 12, 2015; Aceptado: Enero 14, 2016

RESUMEN

En el trabajo se presentan los resultados de la evaluación de la contaminación de los sedimentos objeto de dragado en dos zonas del recinto portuario de la bahía de Cienfuegos (Cuba). La caracterización se realizó en los sedimentos del muelle de carga de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos” y en el área IX de la zona portuaria 2, del recinto portuario de la bahía. El diseño del muestreo, la caracterización de los sedimentos y la evaluación de los resultados se realizaron utilizando criterios internacionales establecidos para este tipo de evaluación. Los resultados demostraron que la concentración de los elementos mayoritarios y traza analizados en los sedimentos fueron similares a las concentraciones reportadas en zonas no contaminadas. A partir de la ausencia de normativas cubanas en la temática .los resultados obtenidos y la metodología aplicada pudieran ser aplicados como parte de los procesos de autorización y licenciamiento de actividades de dragado en otras dársenas, zonas de atraque, canales de navegación y recintos portuarios de Cuba.

Palabras clave: contaminación, dragado, sedimento

Copyright © 2016. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Anabell Pulido, Email: yudexi@ceac.cu

ABSTRACT

The characterization of the dredging sediments is essential for environmental license, control and planning in dredging harbors. Sediment pollution was study in two harbor areas of the Cienfuegos Bay. Dredging sediments from “Camilo Cienfuegos” Refinery port and from area IX of Cienfuegos harbor were characterized. In order to evaluate dredging sediment quality, an analysis of water content, grain size, organic matter and trace metals was done. The results show that the trace elements in the sediments are at natural levels. Due to the absent of Cuban rules for these topics, international criteria for sampling, analysis and sediment quality evaluation were used in the study. Results show that these levels can be considered as typical for harbor areas in which authorization for dredging activities in docks and navigation channel should be granted. The results and methodologies will be applied in others Cuban harbors and navigation channel during the environmental license of dredging sediments.

Key words: Pollution, dredging, sediment

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha aumentado la preocupación de gobiernos y ciudadanos por la conservación del medio ambiente con el desarrollo y puesta en práctica de políticas dirigidas a la conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Esto se ha visto reflejado en numerosos convenios para prevenir efectos adversos en el medio ambiente, unos destinados al control de las fuentes y otros a la conservación de determinados hábitats de especial interés.

El dragado y la descarga del material dragado es un proceso artificial necesario para mantener las condiciones de operatividad y seguridad de las zonas portuarias y canales de navegación. Estas actividades provocan impactos negativos en el ambiente de las áreas dragadas y las zonas de descargas del material extraído, Cruz (2007). En la actualidad, la mayoría de los países regulan las actividades de dragado y su posterior vertido para cumplir con las recomendaciones internacionales como firmantes de estas iniciativas, Casado (2006).

En Cuba, a pesar del número elevado de zonas portuarias en operación y la existencia de formaciones costeras con condiciones ideales para el desarrollo de la actividad marítimo-comercial (Núñez - Jiménez, 2012), no existen leyes o normas que regulen o describan cómo realizar la evaluación de sedimentos y lodos objetos de dragado para proyectos ejecutivos de este tipo. Para definir las mejores alternativas de gestión de los sedimentos que serán dragados se necesitan evaluar de forma óptima e integral las características y calidad de todo el material dragado (Pellegrini et al., 2002), por ello es necesario recurrir a criterios internacionales de calidad de los sedimentos.

El siguiente trabajo fue realizado en dos áreas del recinto portuario de la bahía de Cienfuegos: el muelle de carga de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos” y el área IX del Recinto Portuario de Cienfuegos, ambos ubicados en el lóbulo norte de la bahía de Cienfuegos. En estas zonas se concentra actualmente la mayor actividad marítimo portuaria dentro de la bahía de Cienfuegos. El objetivo del trabajo fue evaluar la calidad de los sedimentos objeto de dragado en las áreas mencionadas para realizar

una adecuada selección de las opciones de manejo o disposición final de los sedimentos generando el menor impacto ambiental posible a los recursos naturales y socioeconómicos de la bahía de Cienfuegos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Zona de estudio

La Bahía de Cienfuegos (figura 1), ubicada en el centro sur de la isla de Cuba a los 27° 9' N y 80° 27' W, es una típica bahía de bolsa con un área de 88.5 km², un volumen medio de 870 millones de m³ y una profundidad media de 10 metros. La existencia de un bajo natural, de cerca de 1.5 m de profundidad, divide la bahía en dos lóbulos (uno al Norte y otro al Sur) provocando una marcada diferencia en la circulación de las aguas (Muñoz y col., 2010). El lóbulo norte recibe la mayor contaminación debido a los residuales domésticos de la ciudad de Cienfuegos y los residuales del polo industrial. En esta zona desembocan los ríos Damují y Salado los cuales aportan contaminantes agroindustriales y domésticos. El lóbulo sur recibe menor carga contaminante, en esta zona no hay industrias significativas y son los ríos Caonao y Arimao las fuentes fundamentales de residuales agrícolas, Villasol (1989).

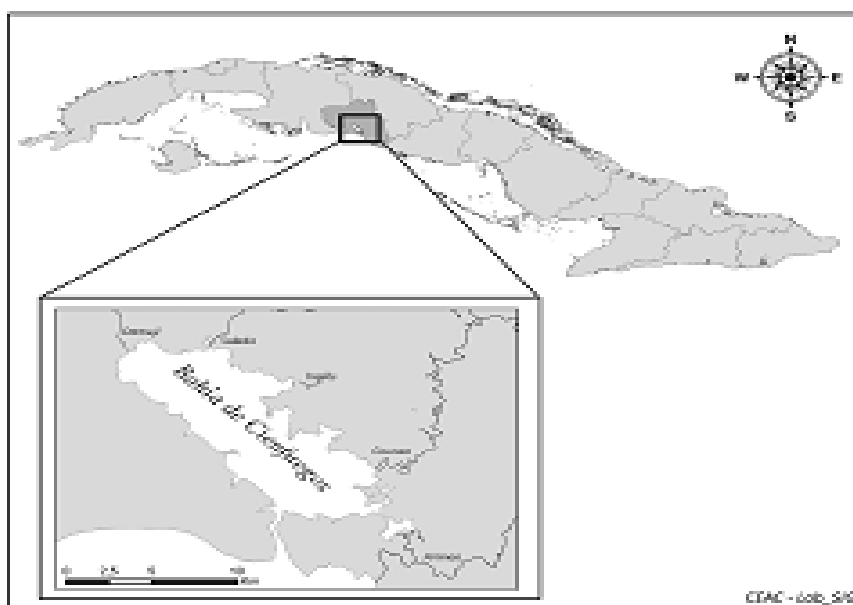


Figura 1. Bahía de Cienfuegos, Cuba

Los efectos del desarrollo socioeconómico en la bahía y su cuenca tributaria han provocado una disminución de sus potencialidades y un impacto en sus características generales. La pérdida de biodiversidad, la reducción en la talla y las capturas de especies comerciales, la erosión de la línea costera y la contaminación de las aguas y los sedimentos son algunos de los indicadores afectados (Morales-Claro, 1996; Muñoz y col., 2010).

El Recinto Portuario de Cienfuegos tiene una extensión de 89 km²; abarca una parte importante del lóbulo Norte y su litoral costero. Las áreas de la bahía de Cienfuegos incluidas en la zona de servicio del Recinto Portuario incluyen la zona I o interior del

puerto y la zona II o exterior del puerto. En esta zona destacan los muelles de atraque de la refinería de petróleo y la zona del puerto, así como sus respectivas dársenas de maniobra y canales de accesos. Estas zonas son las de mayor actividad marítima portuaria en toda la bahía y por su lenta hidrodinámica y aportes sedimentarios han sido dragadas en el pasado (APC, 2014).

2.2. Muestreo y preparación de muestras

2.2.1. Muelle de Carga de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”

Para la evaluación de la composición de elementos mayoritarios y trazas en el material a dragar en el muelle de carga de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos” fueron seleccionadas 12 estaciones de muestreo distribuidas en tres áreas de estudio: área 1, área 2 y área 3. En 8 estaciones fueron recolectados sedimentos superficiales y perfiles de sedimentos en las otras cuatro estaciones. Los perfiles recolectados tuvieron una longitud máxima de 90 cm y fueron seccionados a 10 cm.

El muestreo se realizó en agosto de 2011. Las zonas y puntos de muestreo se muestran en la figura 2A (los puntos en rojo señalan donde se recolectaron los perfiles de sedimentos y en azul se marcan los sedimentos superficiales).

Los perfiles de sedimentos permitieron caracterizar las áreas 1 y 3, zonas no dragadas con anterioridad. La ubicación de los puntos de muestreo se realizó siguiendo los criterios descritos por (Pellegrini et al., 2002). Según este criterio, el número óptimo de estaciones a muestrear en las áreas 1 (2,84 Ha) y 3 (6,2 Ha) serían 3 y 6, respectivamente. Sin embargo, teniendo en cuenta la homogeneidad de la zona se consideró aceptable ubicar en cada una de estas áreas dos puntos de muestreo de perfiles de sedimentos y, adicionalmente, muestrear sedimentos superficiales (1 y 2 puntos en las áreas 1 y 3, respectivamente). El área 2, dragada con anterioridad en el 2007, fue caracterizada a través de la toma de sedimentos superficiales en cinco estaciones.

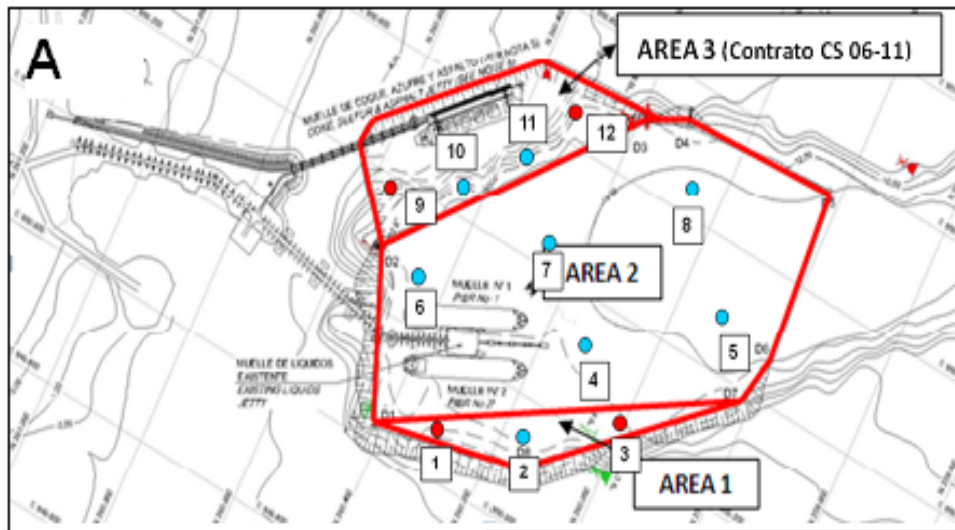


Figura 2 A. Zona de estudio y localización de los puntos de muestreo de sedimentos en el muelle de carga de la Refinería de Petróleo Camilo Cienfuegos

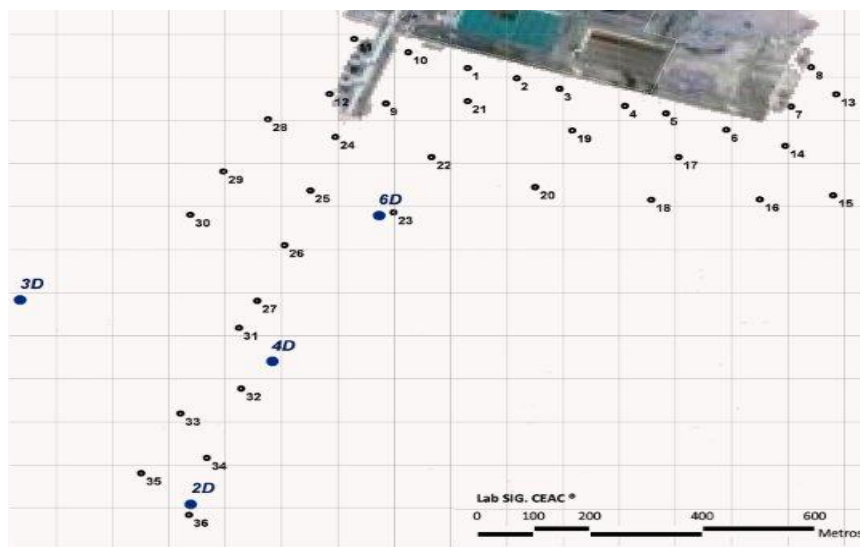


Figura 2 B. Zona de estudio y localización de los puntos de muestreo de sedimentos en el área IX del recinto portuario de Cienfuegos

2.2.2. Área IX de la zona portuaria 2 recinto portuario de Cienfuegos

Para la ubicación de los puntos de muestreo en el estudio del área IX del recinto portuario de Cienfuegos también se tuvieron en cuenta los criterios descritos por (Pellegrini et al., 2002). El número de estaciones de muestreo fue definido teniendo en cuenta la homogeneidad geomorfológica del fondo y la zona litoral. En total se tomaron 26 muestra de sedimentos superficiales y 12 perfiles de sedimentos, distribuidos de forma homogénea en la zona de estudio. El muestreo se realizó en enero de 2012. Los puntos de muestreo se muestran en la Figura 2 B.

En el muestreo de los perfiles de sedimento se usó el sistema UWITEC utilizando tubos plásticos transparentes de 8 cm de diámetro externo y longitud de 60 y 120 cm, Díaz (2012). Los sedimentos superficiales fueron tomados con perfiles de 60 cm de largo, de los cuales se analizó la capa superficial de 5 cm. Los perfiles de sedimento de 90 cm fueron seccionados a 5 cm de espesor en las primeras dos secciones y a 10 cm de espesor las restantes, obteniéndose aproximadamente 10 secciones por cada perfil. La extracción de los sedimentos se realizó presionando el sedimento por la parte inferior y seccionándolo por la superficie. El corte de las secciones se realizó de forma manual con una lámina de acero inoxidable auxiliada de una base de plástico.

Una vez recolectados, los sedimentos se envasaron en frascos plásticos y se conservaron a 4°C hasta la ejecución de los ensayos de contenido de humedad, composición granulométrica, materia orgánica, elementos mayoritarios y traza e hidrocarburos totales. Antes de los ensayos los sedimentos se homogenizaron adecuadamente para garantizar la representatividad de las muestras.

2.3. Actividad analítica

Para la determinación del contenido de humedad se utilizó el secado en estufa a 45°C. A partir del peso húmedo inicial y el peso seco final se determinó el contenido de humedad de cada muestra, (Loring y Rantala, 1992). Las muestras secas fueron maceradas en molino de ágata y tamizadas hasta obtener un tamaño de grano menor de 250 µm. El

secado y macerado de las muestras se realizó en el Laboratorio de Ensayos Ambientales del CEAC.

La composición granulométrica de los sedimentos se realizó mediante la separación de las fracciones de arenas, limos y arcillas por método húmedo y la determinación gravimétrica con balanza analítica, (Loring y Rantala, 1992), a partir de aproximadamente 5 gramos de sedimento húmedo.

La materia orgánica en los sedimentos se estimó a partir de las pérdidas por ignición a 550°C (Heiri et al., 2001). Este método es utilizado para evaluar de forma rápida y fácil el comportamiento de los perfiles de materia orgánica con la profundidad. En el ensayo se utilizaron 0.5 g de sedimento seco, molido y tamizado por 250 µm.

Las determinaciones de los elementos mayoritarios Hierro (Fe) y Manganeso (Mn) y de los elementos traza Cobre (Cu), Níquel (Ni), Zinc (Zn), Plomo (Pb), Cromo (Cr) y Vanadio (V) se realizaron por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Las determinaciones de Mercurio (Hg) se realizaron empleando un Analizador Directo de Mercurio y las de Arsénico (As) y Cadmio (Cd) por Fluorescencia de Rayos X.

Todos los ensayos se realizaron por métodos normalizados. En el control de calidad de estos ensayos se utilizaron patrones de referencia trazables a NIST y muestras duplicadas según lo indicado en el Sistema de Gestión de Calidad del CEAC.

La comparación de los valores de concentración medidos con valores de referencias reportados permite evaluar la calidad del material a dragar y, consecuentemente, establecer el destino final más adecuado. Este criterio sencillo es aplicable a sedimentos caracterizados por una relativa uniformidad geoquímica, Buchman (1999).

En Cuba no existen normas para evaluar la calidad del sedimento a dragar a partir de valores de referencia propios, por lo cual se escogió como método la comparación con valores de referencia establecidas en otros países. Los Valores de Referencia utilizados fueron tomados de las siguientes guías de calidad: Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 2001), Buchman (1999), (Long et al., 1995), (CEDEX, 1994), (Pellegrini et al., 2002) y (VROM, 2000).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Evaluación de los sedimentos en el muelle de la Refinería de Petróleo Camilo Cienfuegos

De forma general las muestras superficiales y los perfiles de sedimentos mostraron una composición mayoritaria (> 90 %) y homogénea de sedimentos finos (< 63 µm). Lo cual demostró la existencia de condiciones hidrodinámicas estables y provechosas para la acumulación de sedimentos (Alonso et al., 2006).

Los elementos mayoritarios y traza mostraron valores homogéneos en los cuatro perfiles de sedimentos (figura 3). Las concentraciones de los elementos analizados en los sedimentos superficiales estuvieron en el rango obtenido en los perfiles de sedimentos.

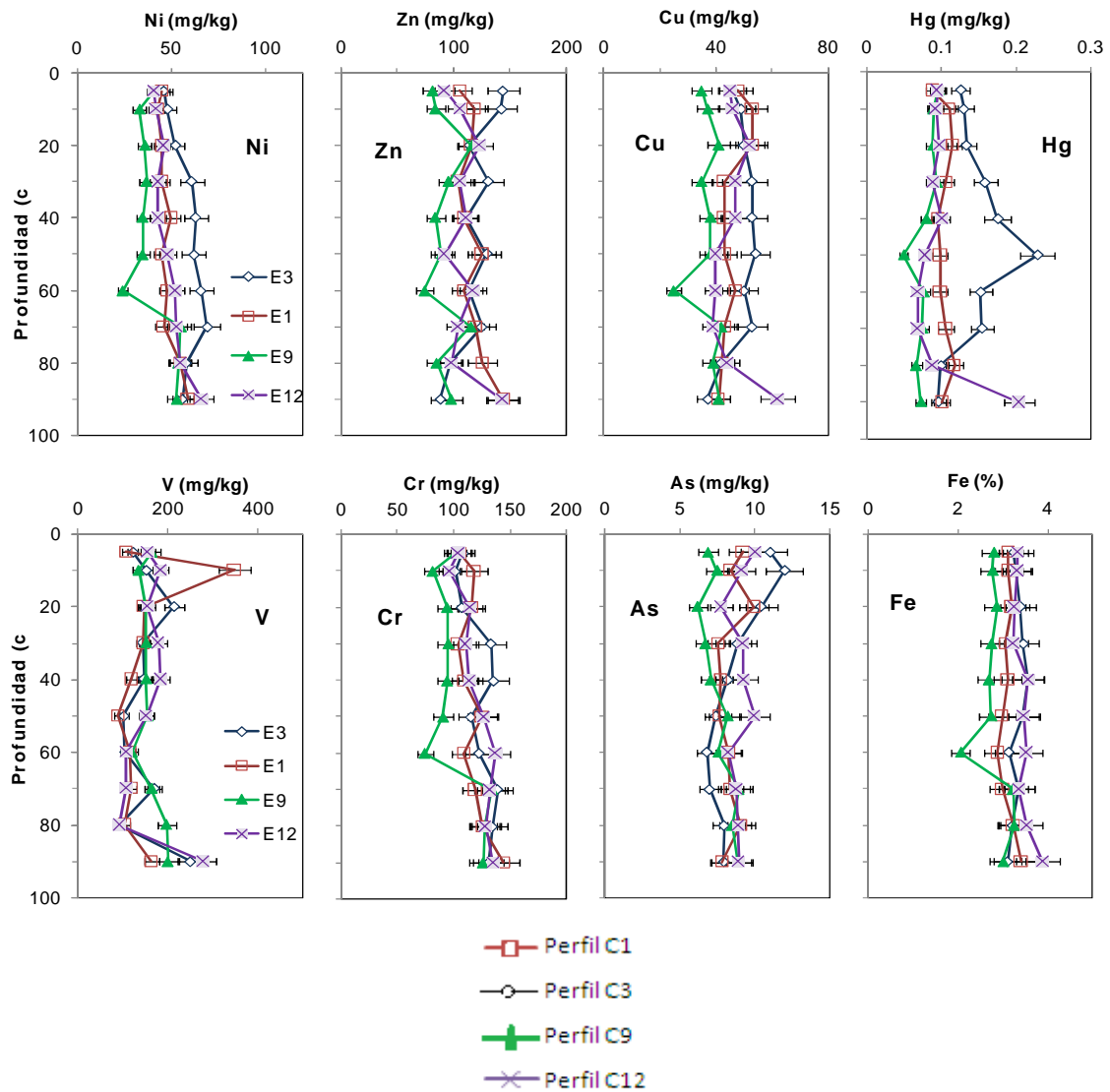


Figura 3. Distribución de elementos mayoritarios y traza en los cuatro perfiles de sedimento recolectados en la zona de estudio

Los factores de enriquecimiento calculados para cada perfil y elemento (obtenidos al dividir cada valor entre el valor de la muestra más profunda) son todos cercanos a la unidad, lo que indica que no existe enriquecimiento de las concentraciones desde las capas más profundas a las más superficiales.

La comparación de las concentraciones medidas con Valores de Referencia reportados se muestra en la tabla 1. El Valor de Referencia 1 umbral (TEL) garantiza la evaluación más conservativa posible, y por tanto, la que ofrece un mayor nivel de protección. El TEL es el menor valor de referencia umbral para todos los elementos considerados en el estudio.

Tabla 1. Valores de Referencia (VR; mg/kg de peso seco) de concentraciones de contaminantes asociados con diferentes probabilidades de ocurrencia de efectos tóxicos.

El orden numérico indica concentraciones en aumento

<i>Metal</i>	<i>VR₁</i>		<i>VR₂</i>		<i>VR₃</i>		<i>VR₄</i>		<i>Rango de valores obtenidos en el presente estudio</i>
	<i>TEL</i>	<i>PEL</i>	<i>ERL</i>	<i>ERM</i>	<i>TV</i>	<i>IV</i>	<i>NA₁</i>	<i>NA₂</i>	
As	7,24	41,6	8,2	70	-	-	80	200	6,2-11,9
Hg	0,13	0,7	0,15	0,71	0,3	10	0,6	3	0,05-0,23
Cr	52,3	160	81	370	100	380	200	1000	51 – 140
Cu	18,7	108	34	270	36	190	100	400	17 – 59
Pb	30,2	112	46,7	218	85	530	120	600	6,6-13,4
Ni	15,9	42,8	20,9	51,6	35	210	100	400	25 – 67
Zn	124	271	150	410	140	720	500	3000	40 – 146
Cd	0,68	4,21	1,2	9,6	0,8	12	1	5	< 0,6

VR₁ (CCME, 2001; Buchman, 1999):

-*TEL* (del inglés *Threshold Effects Level*). nivel de efecto umbral que representa la concentración por debajo de la cual se espera la ocurrencia poco probable de efectos tóxicos sobre la flora y la fauna marinas.

-*PEL* (del inglés *Probable Effects Level*). representa el valor por encima del cual se espera la ocurrencia frecuente de efectos tóxicos sobre la flora y la fauna marinas.

VR₂ (Buchman, 1999; Long et al., 1995):

-*ERL* (del inglés *Effects Range-Low*). representa el valor a partir del cual la toxicidad puede comenzar a ser observada en especies sensibles. Representa el valor de concentración umbral.

-*ERM* (del inglés *Effects Range-Median*). representa el valor a partir del cual se espera la ocurrencia frecuente de efectos tóxicos sobre la flora y la fauna marinas.

VR₃ (Vrom, 2000):

-*TV* (del inglés *Target Value*). representa el valor de concentración umbral por debajo del cual los sedimentos procedentes de actividades de dragado pueden ser depositados en mar abierto o reutilizados.

-*IV* (del inglés *Intervention Value*). representa el valor a partir del cual existe un riesgo de toxicidad potencial para animales y plantas.

VR₄ (CEDEX, 1994):

-*Nivel de acción 1*. representa el valor por debajo del cual los efectos químicos y/o bioquímicos sobre la flora y la fauna marinas son nulos o prácticamente insignificantes. Representa el valor de concentración umbral.

-*Nivel de acción 2*. representa el valor por encima del cual se considera una contaminación moderada.

Para el caso del As, Hg, Pb, Zn y Cd todos los valores (con sus incertidumbres) están por debajo o muy cercanos a este valor de referencia. Para el caso del Cr y Cu todos los valores están entre este valor umbral (TEL) y el límite de tolerancia (PEL). Solo para el Ni, más de la mitad de los valores superan el PEL, lo cual representa concentraciones frecuentemente asociadas con la ocurrencia de efectos tóxicos. Sin embargo, la homogeneidad de la distribución de estos elementos en los perfiles de sedimentos y los factores de enriquecimiento próximos a la unidad sugiere que estos valores no parecen

ser el resultado de una contaminación antropogénica, sino que son propios de la naturaleza geoquímica de estos sedimentos.

3.2. Evaluación de los sedimentos en el área IX, zona 2 del recinto portuario de Cienfuegos

3.2.1. Características sedimentológicas

La composición granulométrica de los sedimentos superficiales mostró la presencia de sedimentos finos (< 63 μm) en todas las estaciones excepto en las cajas de atraque; en estas áreas las maniobras de los buques impiden la acumulación de los sedimentos finos. Los perfiles de sedimentos recolectados (12 en toda el área) muestran una composición mayoritaria de sedimentos finos (figura 4). Su distribución con la profundidad es homogénea, solo en dos estaciones se observó un incremento de arenas (>63 μm) en los secciones más profundas (P17 y P23). Las pérdidas por ignición (indicador relacionado con la materia orgánica) muestra valores similares y elevados en los perfiles. Se observó una tendencia de incremento en las capas más superficiales. Ambos indicadores demuestran que la zona se comporta como un sitio homogéneo y estable de acumulación de sedimentos finos (Ruíz y col., 2012).

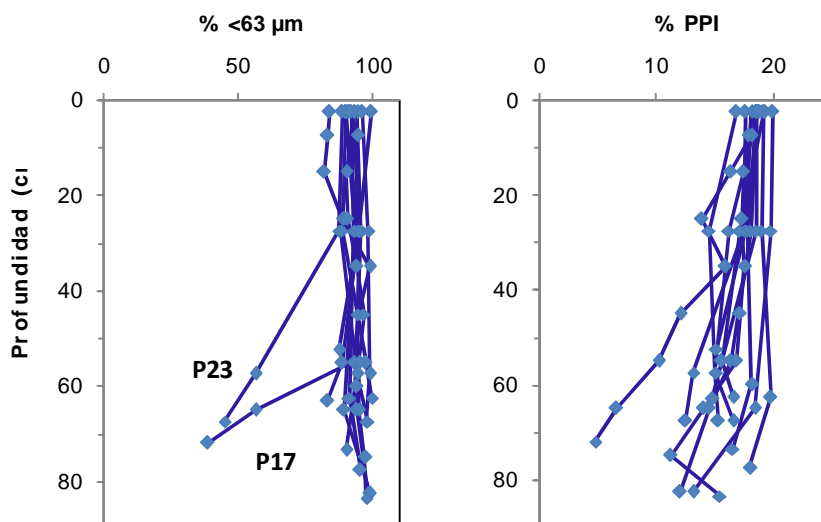


Figura 4. Distribución de sedimentos finos (< 63 μm) y pérdidas por ignición (PPI) en los perfiles de sedimentos recolectados en la zona de estudio (ver Figura 2B)

3.2.2. Concentración de metales pesados

La distribución con la profundidad de los elementos Zn, Hg, Cu, Mn, Ni y Cr se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.5**. En los gráficos se incluyen el Valor de Referencia TEL (I) y PEL (II) para cada elemento. Para los metales Cr, Mn, Ni y Zn la distribución con la profundidad es relativamente homogénea y no se observan diferencias en concentración entre las estaciones. Similar comportamiento se observa para el Hg, sin embargo en las estaciones 33 y 36 existen valores intermedios elevados. Para el Cu las concentraciones son diferentes entre las estaciones. En el caso del Ni varios perfiles muestran valores superiores al PEL. Para el resto de los elementos los valores no superan este límite. De forma general no se observan incrementos de la

concentración en las capas superiores (más recientes), esto demuestra que no ha ocurrido un incremento de la contaminación en el tiempo.

La evaluación del enriquecimiento antropogénico a partir de los valores de base demostró que para el Cr, Ni y Mn no hay cambios con la profundidad. Para el Cu y el Zn en algunos perfiles se observó un incremento hacia la superficie y factores superiores a 2. Para el Hg en dos perfiles se observaron enriquecimientos superiores a 3 en las capas intermedias. Independientemente de estos aumentos la concentración de los elementos analizados en los sedimentos recientes (superficiales) se corresponde con niveles naturales.

Solo para los elementos Hg, Cu y Zn se observan valores superiores en determinadas profundidades, sin embargo en todos los casos son menores que los valores de referencia utilizados como criterios de contaminación.

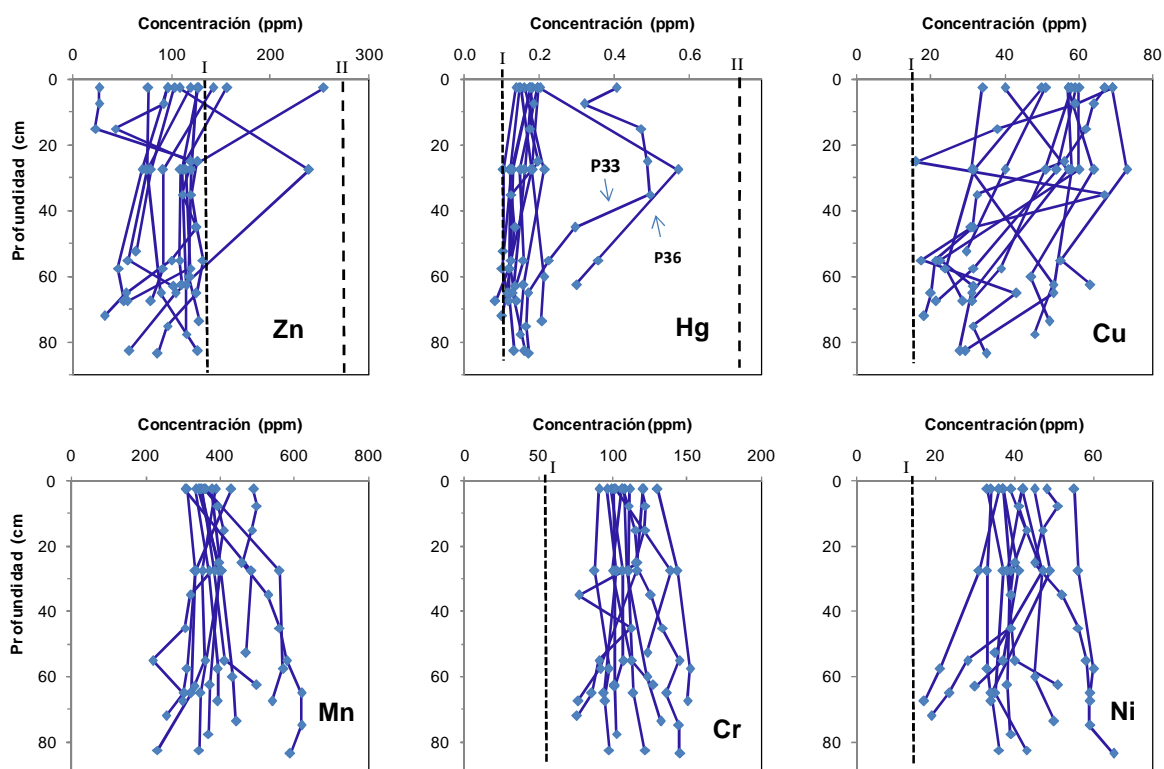


Figura 5. Distribución de Zn, Hg, Cu, Mn, Cr y Ni en los 12 perfiles de sedimentos. I y II representan los niveles TEL y PEL respectivamente para cada elemento

4. CONCLUSIONES

1. La caracterización de los sedimentos objeto de dragado en el muelle de carga de la Refinería de Petróleo Camilo Cienfuegos demostró que existe una acumulación homogénea de sedimentos finos. Los sedimentos acumulados no muestran tendencia al aumento de las concentraciones desde las capas más profundas a las más superficiales.
2. En el caso de los sedimentos objeto de dragado en la zona IX del recinto portuario de Cienfuegos se demostró que la zona está compuesta por sedimentos finos y que la concentración de los elementos mayoritarios y traza analizados en los sedimentos superficiales y los perfiles de sedimento se corresponde con niveles naturales.

3. Los resultados de este estudio pueden ser considerados como pautas iniciales de niveles característicos o típicos de zonas portuarias para ser tomadas en cuenta en los lineamientos para la autorización de actividades de dragado en dársenas, zona de muelles y canales de navegación en zonas marítimas portuarias de Cuba.

REFERENCIAS

- Alonso, C.M., Díaz, M., Muñoz, A., Delfanti, R., Papucci, C., Ferretti, O., y Crovato, C., Recent changes in sedimentation regime in Cienfuegos Bay, Cuba, as inferred from ^{210}Pb and ^{137}Cs vertical profiles., *Continental Shelf Research*, Vol. 26, No. 2, 2006, pp. 153-167.
- APC, Recinto Portuario de Cienfuegos. Delimitación del Recinto Portuario., Administración Portuaria Cienfuegos., 2014.
- Buchman, M.F., NOAA, Screening Quick reference Tables., NOAA Hazmat Coastal Protection and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, Report 99-1, Seattle WA, 1999, pp. 1-12.
- CCME., Canadian Council of Ministers of the Environment, Canadian environmental quality guidelines, 2001.
- CEDEX. Recomendaciones para la gestión del material dragado en los Puertos Españoles, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1994.
- Díaz, M., Aplicación del fechado con ^{210}Pb en la reconstrucción de procesos sedimentarios recientes en zonas costeras de Cuba., Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Facultad de Ciencias y Tecnología Nucleares, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Cuba, 2012.
- Casado, M.C., Caracterización de Material de Dragado Optimizando un Método Integrado de Evaluación de la Calidad Ambiental., Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Facultad De Ciencias del Mar y Ambientales, Universidad de Cádiz, 2006.
- Cruz, L., Potenciales Impactos Ambientales Generados por el Dragado y la Descarga del Material Dragado., Instituto Nacional de Canalizaciones, Dirección de Proyectos e Investigación, Caracas – Venezuela, 2007, pp. 1-2.
- Heiri, O., Lotter, A.F., Lemcke, G., Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediment: reproducibility and comparability of results., *Journal Paleolimnology*, Vol. 25, No. 3, 2001, pp. 101-110.
- Long, E.R., Mc. Donald, D.D., Smith, S.L. and Calder, F.D., Incidente of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments., *Environmental Management*, Vol. 19, No. 19, 1995, pp. 81-97.
- Loring, D.H., Rantala, R.T.T., Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter., *Earth-Science Reviews*, Vol. 32, No. 4, 1992, pp. 235-283.
- Morales-Claro, R., Evolución histórico social del impacto antrópico sobre el ecosistema Bahía de Cienfuegos., *CMICT-ACC-Cienfuegos*, 1996, pp. 1-5.
- Muñoz, C.A., Herrera, M.R., Fichez, R., Douillet, P., Díaz, G.O. y Fernández, J.M., Influencia de las características hidrodinámicas y morfométricas en la distribución de ^{210}Pb en los sedimentos superficiales de la bahía de Cienfuegos, Cuba., *Revista de Investigaciones Marinas*, Vol 31, No. 1, 2010, pp.11-21.

- Núñez Jiménez, A., Colección Cuba: La naturaleza y el hombre., Editorial Litorales y Mares, 2012.
- Pellegrini, D.O. F., Virno Lamberti, C., Merico, G., Gabellini, M. y Ausili, A., Aspetti tecnico-scientifici per la salvaguardia ambientale nella attività di movimentazione dei fondali marini: Dragaggi Portuali., Cuaderno ICRAM, 2002, pp. 115-122.
- Ruíz, A.C., Sánchez, J.A. y Díaz, M., Radiocronología de Sedimentos Costeros Utilizando ^{210}Pb : Modelos, Validación y Aplicaciones., Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), 2012.
- Villasol, A., Estudio de la Contaminación de la Bahía de Cienfuegos. Informe Final., IIt-Cimab, 1989, pp.1-113.
- VROM, Circular on target values and intervention values for soil remediation, Netherlands Ministry of Housing Spatial Planning and the Environment., 2000.