



CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DE LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA BAHÍA DE PANAMÁ

¹J. A. Gómez H., ²M. V. Fuentes H., ³O. Leone, ¹C. A. Vega

¹Universidad de Panamá, Departamento de Biología Marina y Limnología.

e-mail:juanay@hotmail.com

²Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Escuela de Ciencias, Departamento de Bioanálisis, Cumaná, Estado Sucre, Venezuela. e-mail:mvfuentes@cantv.net

³Universidad de Panamá, CITEN, Laboratorio de absorción atómica.

e-mail: orlandoleone2002@yahoo.com

RESUMEN

Se cuantificó de manera puntual la composición porcentual de cada textura granulométrica así como los parámetros estadísticos texturales y los niveles de concentración de metales (Cu, Cd, Zn y Pb) en los sedimentos superficiales de 15 puntos de colecta de la Bahía de Panamá. Los resultados indican que la textura predominante es la arenosa, siendo las fracciones abundantes la arena fina (AF) > arena media (AM) > arena gruesa (AG). No se encontró uniformidad en el tamaño de grano en los distintos depósitos sedimentarios. El 58.3% de los sedimentos son mal clasificados y el 41.7% muy mal clasificados. Se diferenciaron sedimentos leptokúrticos (Costa del Este, Rampa, Naos), muy leptokúrticos (Santo Tomás), extremadamente leptokúrticos (Panamá Vieja) mesokúrticos (Matasnillo). Los porcentajes de materia orgánica en la Bahía de Panamá resultaron bajos, entre 0,13 y 1,23%. Las concentraciones de Cu variaron desde 17 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ hasta 45 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. El Cd mostró concentraciones que oscilaron entre 0.13 a 0.58 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. El contenido de Zn fluctuó entre 27 y 73 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. El Pb varió entre 19 y 433 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Los metales no mostraron correlación significativa con la materia orgánica, excepto el Cd ($r = 0,40$). En general la distribución de la materia orgánica no condicionó la distribución de los metales traza en los sedimentos superficiales de la Bahía. Los metales trazas se acumularon preferiblemente en sedimentos finos, menores de 125 μm ($>3\Phi$). Existen claras evidencias que el ecosistema se encuentra muy impactado por Pb.

PALABRAS CLAVES

Sedimentos, leptokúrticos, mesokúrticos, materia orgánica, metales pesados.

ABSTRACT

The percentage composition of each grain texture was precisely quantified as well as the texturales statistical parameters and the levels of metal concentration (Cu, Cd, Zn and Pb) in superficial sediments of 15 points of collect of the Bay of Panama. The results indicate that the predominant texture is the sandy one, being the abundant fractions the fine sand (FS) > average sand (AS) > heavy sand (HS). Was not uniformity in the size of grain in the different sedimentary deposits. The 58,3% of sediments are badly classified and the 41,7% very badly classified. They were differentiate the sediments leptokurtics (Coast of the East, Incline, Naos), very leptokurtics (Santo Tomás), extremely leptokurtics (Old Panama) and mesokurtics (Matasnillo). The percentage of organic matter in the Bay of Panama were low, between 0.13 and 1,23%. The concentrations of Cu varied from 17 to 45 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. The Cd showed concentrations that oscillated between 0.13 to 0.58 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, the content of Zn fluctuated between 27 and 73 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. The Pb varied between 19 and 433 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. The metals did not show significant correlation with the organic matter, except the Cd ($r = 0.40$). In general the distribution of the organic matter did not condition the distribution of the trace metals in superficial sediments of the Bay. The trace metals were accumulated preferably in fine, smaller sediments of 125 μm (> 3F). Clear evidences exist that the ecosystem is impacted by Pb.

KEYWORDS

Sediment, leptokúrtics, mesokúrtics, organic matter, heavy metals.

INTRODUCCIÓN

En los ecosistemas costeros, el incremento de las actividades suburbanas, urbanas e industriales asociadas con refinerías petroleras, puertos, tráfico marítimo, procesos de deforestación, agricultura, erosión de la capa superior del suelo, fertilizantes y agroquímicos agregan contaminantes, como los metales pesados, al ambiente marino. Su destino es de extrema importancia debido a que pueden modificar los procesos bioquímicos naturales, el funcionamiento de ecosistemas muy productivos e impactar al ecosistema (Rubio et al., 1995; Ponce et al., 2000).

Ellos pueden dar lugar a fenómenos de toxicidad, aún en concentraciones muy bajas, lo que afectaría al desarrollo y vida de los organismos y consecuentemente a la cadena alimentaria. Generalmente, los metales transportados a los ecosistemas costeros se fijan fácilmente sobre el material particulado, lo que hace que su destino principal sean los sedimentos costeros. Por ello, los sedimentos son un almacén altamente concentrado de metales, con

concentraciones superiores a las aguas adyacentes. Una vez que los metales son incorporados a los sedimentos costeros, el cambio en las condiciones redox del medio y los procesos de redistribución de los metales en las distintas fases del sedimento afectan a su biodisponibilidad y por lo tanto, a la calidad ambiental del sistema, de tal manera, la medición de la concentración de cada especie química en los sedimentos superficiales proporciona información sobre su comportamiento geoquímico, biodisponibilidad y/o toxicidad e indica si la presencia de metales pesados, en el ambiente, es una contribución natural procedente de la corteza terrestre o existen aportes contaminantes generados por las actividades humanas (Lewis & Landing 1992; García -Montelongo et al., 1994; Balls et al., 1997; Ponce et al., 2000; Williamson & Morrisey 2000; Codina & Pérez 2001; Martínez & Senior 2002; Durán et al., 2004).

Rubio et al. (1995) señala que el tamaño de grano es uno de los factores principales factores que controlan la distribución y enriquecimiento de metales pesados. A su vez, este parámetro es una herramienta esencial para conocer la composición del sedimento, procedencia de las partículas, las condiciones de transporte y deposición y clasificar los ambientes sedimentarios, ya que proporciona bases estadísticas muy robustas que permiten comparar sedimentos de composición granulométrica muy variable mediante la media, mediana, sorteo, asimetría y otros cálculos estadísticos, tanto aritméticos como geométricos (Blott & Pye 2001).

Es necesario conocer las concentraciones y distribución de los metales pesados para tener una idea del origen de la contaminación, poder concluir sobre los efectos antrópicos, a largo plazo, y manejarlos adecuadamente. De esta manera, las formas químicas de los metales predicen su comportamiento geoquímico y el posible efecto sobre los organismos y la salud de los humanos, quienes los incorporan en la dieta (Fuentes 1999). La importancia del efecto contaminante de los metales pesados, particularmente en el sedimento de textura fina, ha sido reconocida, por ser el principal sumidero de éstos, además de la materia orgánica, pudiendo actuar como fuente cuando las condiciones del ambiente cambian. En ese sentido la materia orgánica puede variar marcadamente en períodos secos y lluviosos, pero con mayor concentración en la temporada lluviosa y va a estar asociada directamente con los granos de sedimentos finos, sedimentos limo-arcilla. Estudios realizados en el año 2000 en un sector de la Bahía

de Panamá para la creación de las islas Punta Pacífica, indican que la mayor fuente de contaminación de la Bahía de Panamá es la descarga de aguas residuales y desechos sólidos arrojados por la población a los ríos y costas, la cual representan el 30% de la contaminación (ANAM 2004). El estudio no reporta concentraciones de metales en sedimento, pero sí para 18 especies de peces, cuyas concentraciones estuvieron por debajo de los estándares internacionales. En este sentido, el objetivo de esta investigación es evaluar la composición porcentual de cada textura granulométrica, los parámetros estadísticos texturales y los niveles de concentración de metales (Cu, Cd, Zn y Pb) en los sedimentos superficiales de 12 puntos de colecta de la Bahía de Panamá para establecer comparaciones posteriores, de manera que se pueda ejercer un adecuado manejo ambiental de las descargas de manera que se minimicen los efectos antrópicos.

ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó a lo largo de la zona costera de la Bahía de Panamá, entre 9° 00' latitud norte y 79° 30' longitud oeste. (Fig. 1) donde se establecieron 12 estaciones de colectas. El fenómeno de afloramiento producido durante la temporada de verano le confiere a esta área gran importancia para las pesquerías.

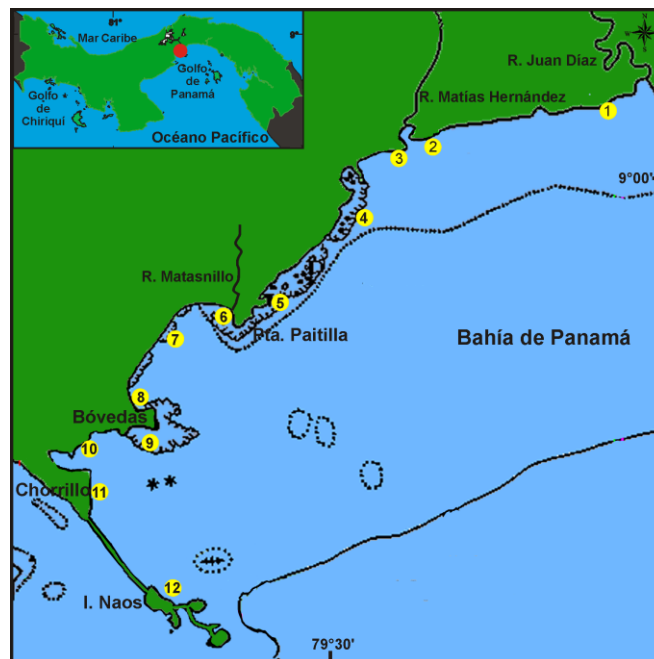


Fig.1. Mapa de localización de los puntos de colectas.

MATERIALES Y METODOS

Se seleccionaron 12 estaciones de colecta a lo largo de la zona costera de la Bahía de Panamá. En cada estación se tomaron cuatro muestras de sedimento superficiales con una draga Petersen de $0,025\text{m}^2$, obteniéndose de cada dragado aproximadamente $2,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ de sedimento. Se pesaron 100g de muestra seca, las fracciones más gruesas (grava y arena) se separaron del material más fino ($>4\phi$, limo y arcilla), usando tamices mayores de $63 \mu\text{m}$, en un equipo Ro-Tap con columna Tyler (Krumbein 1936^a, 1964^b, Wenworth 1936). Las fracciones obtenidas se pesaron y expresaron como porcentaje de la muestra original. Estos valores se usaron para determinar los grupos texturales de acuerdo al triángulo de Shepard (1973) y para construir las curvas semologarítmicas de los porcentajes de peso acumulado, en una ordenada aritmética, frente al diámetro en una abcisa logarítmica, en unidades ϕ .

De estas curvas se extrajeron los parámetros granulométricos: media (Mz), mediana (Md), asimetría (SKq), clasificación (O1), agudeza y Kurtosis (Folk & Ward 1957), los cuales fueron interpretados según Inman (1952), Tanner (1964) y Folk (1966) y los aportes de Martínez (1986), Llano (1987), Anfuso et al., (1999), Parrado Román & Achab (1999), Breslin & Sañudo-Wilhelmy (1999), Johannesson et al., (2000), Blott & Pye (2001), Hung & Hsu (2004).

El contenido de materia orgánica se determinó en 250 g de sedimento, secados en un horno Lab Line Imperial II a 80°C por 48 horas a peso constante. 10 g de muestra seca fueron incinerados a 550°C por 2 horas en una Mufla Termolyne 1300.

En muestras liofilizadas se analizaron los metales trazas, siguiendo la metodología descrita por Carmody et al. (1973). 1g de sedimento se sometió a digestión hasta casi sequedad con ácido nítrico concentrado, se le adicionaron 2 mL de peróxido de hidrógeno, se filtró con papel Watman N° 40 y completó a un volumen de 25 mL. Tanto las soluciones patrones como las de las muestras fueron medidas en un espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) SHIMADZU, especificación AA-6800 de doble haz, llama de aire-acetileno, corrector de fondo de deuterio y automuestreador, usando las longitudes de onda características de cada metal. La precisión del

análisis fue de 1% y la exactitud se evaluó utilizando una muestra estándar certificada de sedimento de Environmental Resource Associates. Los errores totales fueron menores de 10%. Los blancos fueron determinados con cada conjunto de muestras y estuvieron por debajo del 1% de los valores de las muestras. Los límites de detección por metal en el sedimento fueron: Cu ($0.70\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), Cd ($0.1\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), Zn ($0.30\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), Pb ($12.5\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). A partir de los resultados se obtuvieron los coeficiente de correlación de Pearson (Systat 7.0; $p < 0.05$).

RESULTADOS

Sedimentos

Los resultados de la composición porcentual de cada textura granulométrica por estación (Fig. 2, Cuadro 1) indican que la textura predominante es la arenosa, característica de ambientes con alta energía cinética, donde el grano muy pequeño se mantiene suspendido. En general, las fracciones arenosas más abundantes fueron arena fina (AF) > arena media (AM) > arena gruesa (AG).

Cuadro 1. Análisis textural, clasificación de los sedimentos, materia orgánica (MO) y metales.

| ESTACIONES | ARENA % | AMG % | AG % | AM % | AF % | AMLIMO y ARCILLA % | TEXTURA DEL SEDIMENTO | MO | Cu ug/g | Cd ug/g | Zn ug/g | Pb ug/g | Referencia | | |
|---|---------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-----------------------|---------|------------------------------|---------|----------|-------------|------------|------------|-----------------------------------|
| 1 Costa del Este | 89,70 | 7,80 | 4,20 | 28,00 | 30,40 | 19,30 | 10,30 | arenoso | 1,23 | 17 | 0,13 | 27 | 19 | | |
| 2 Panamá Viejo (1) | 98,70 | 4,31 | 4,79 | 25,30 | 55,40 | 8,85 | 1,38 | arenoso | 0,56 | 39 | 0,33 | 44 | 41 | | |
| 3 Panamá Viejo (2) | 91,50 | 6,00 | 6,26 | 24,90 | 35,40 | 18,90 | 8,51 | arenoso | 0,47 | 17 | 0,17 | 45 | 35 | | |
| 4 Punta Pacífico | 90,80 | 56,00 | 18,80 | 9,16 | 5,74 | 1,08 | 9,19 | arenoso | 0,48 | 33 | 0,13 | 38 | 60 | | |
| 5 Rampa | 98,40 | 35,00 | 48,10 | 13,90 | 1,15 | 0,29 | 1,60 | arenoso | 0,16 | 35 | nd | 38 | 46 | | |
| 6 Matasnillo | 94,20 | 32,50 | 23,30 | 18,90 | 15,00 | 4,52 | 5,72 | arenoso | 0,51 | 31 | nd | 62 | 147 | | |
| 7 Santo Tomás | 98,80 | 3,59 | 15,70 | 45,20 | 33,20 | 1,08 | 1,33 | arenoso | 0,45 | 23 | 0,25 | 38 | 140 | | |
| 8 Mercado Público | 95,50 | 3,65 | 4,97 | 13,70 | 41,60 | 32,00 | 4,08 | arenoso | 0,88 | 129 | 0,58 | 73 | 433 | | |
| 9 Bóvedas | 96,50 | 24,80 | 15,50 | 48,80 | 6,84 | 0,43 | 3,53 | arenoso | 0,21 | 21 | 0,17 | 50 | 128 | | |
| 10 Barrazas | 98,10 | 17,50 | 14,00 | 23,30 | 39,40 | 3,84 | 1,94 | arenoso | 0,21 | 25 | 0,13 | 54 | 71 | | |
| 11 Naos | 98,00 | 38,00 | 40,50 | 16,20 | 2,66 | 0,66 | 2,06 | arenoso | 0,13 | 43 | 0,13 | 61 | 209 | | |
| 12 Playita | 98,40 | 47,20 | 29,90 | 18,70 | 2,13 | 0,58 | 1,52 | arenoso | 0,13 | 40 | 0,13 | 46 | 120 | | |
| AMG : arena muy gruesa AG : arena gruesa AM: arena media AF : arena fina AMF : arena muy fina | | | | | | | | | Sedimentos prístinos | | 10 | 1 | | | Sadiq (1992) |
| | | | | | | | | | Corteza terrestre | | 25 | | 65 | 15 | Wedepohl (1995) |
| | | | | | | | | | Bahía de Cádiz | | 5 | 0,18 - 0,23 | 119 - 230 | 34,4-69,66 | Ponce <i>et al.</i> (2000) |
| | | | | | | | | | Muelle Port Jefferson | | 0,1 - 86 | | 14,3 - 191 | 3,8-58,9 | Breslin & Sañudo - Wihelmy (1999) |

Cuadro 2. Parámetros de relación e interpretación textural

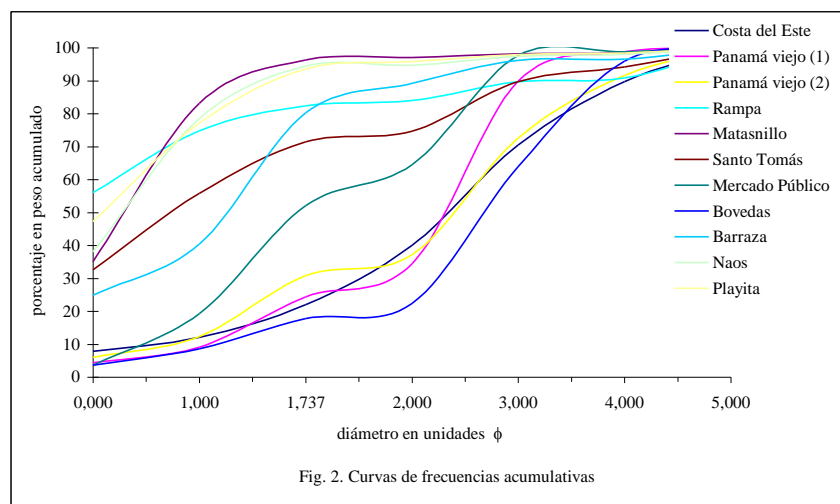
| Est | Q5 | Q16 | Q25 | Q50 | Q75 | Q84 | Q95 | Md | Mz | O1 | Sk _g | Kg | Grado Clasificación | Asimetría u osc ecm. | Kurtosis o Agudeza |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| | -0,322 | 1,322 | 1,737 | 2,184 | 3,184 | 3,662 | 3,988 | 2,184 | 3,810 | 1,240 | 0,304 | 1,220 | mal clasificados | MATF/muy bajas | leptokúrtica o aguda |
| 2 Panamá Viejo (1) | 0,152 | 1,474 | 2,058 | 2,058 | 2,473 | 2,836 | 3,473 | 2,058 | 3,680 | 0,844 | 0,307 | 3,280 | mal clasificados | MATF/ bajas | extremadamente leptokúrtica |
| 3 Panamá Viejo (2) | 0,152 | 1,217 | 1,322 | 2,132 | 3,795 | 3,836 | 4,011 | 2,132 | 3,810 | 1,240 | 0,494 | 3,860 | mal clasificados | MATF/muy bajas | extremadamente leptokúrtica |
| 4 Punta Pacifica | 0,362 | -2,850 | -2,000 | -1,300 | 1,000 | 1,322 | 3,836 | 1,300 | 0,796 | 3,160 | 0,236 | 1,020 | muy mal clasificados | MATF/muy bajas | mesokúrtica o normal |
| 5 Rampa | -3,620 | -3,000 | -1,140 | 0,515 | 0,889 | 1,000 | 2,000 | 0,515 | 3,310 | 1,852 | -0,570 | 1,852 | mal clasificados | MATG/muy altas | leptokúrtica o aguda |
| 6 Matasnillo | -4,320 | -2,810 | -0,766 | 0,884 | 1,910 | 1,840 | 2,400 | 0,884 | 0,632 | 2,180 | -0,474 | 1,030 | muy mal clasificados | MATG/muy altas | mesokúrtica o normal |
| 7 Santo Tomás | 0,737 | 1,320 | 1,320 | 2,060 | 2,400 | 2,940 | 3,470 | 2,060 | 2,030 | 0,819 | 0,453 | 2,730 | mal clasificados | MATG/muy altas | muy leptokúrtica |
| 8 Mercado Público | 0,322 | 1,560 | 2,120 | 2,740 | 3,320 | 3,640 | 3,970 | 2,740 | 1,320 | 1,070 | 0,146 | 1,250 | mal clasificados | ATF/muy bajas | mesokúrtica o normal |
| 9 Bóvedas | -4,640 | -1,000 | 0,029 | 1,000 | 1,150 | 1,640 | 3,060 | 1,000 | 2,770 | 1,830 | -0,047 | 2,880 | mal clasificados | CS/nulos | muy leptokúrtica |
| 10 Barrazas | -2,810 | -2,360 | 0,556 | 1,840 | 2,320 | 2,470 | 3,320 | 1,840 | 2,380 | 2,210 | -0,108 | 1,380 | muy mal clasificados | MATG/muy altas | leptokúrtica o aguda |
| 11 Naos | -6,640 | -3,580 | -1,580 | 0,690 | 0,943 | 1,060 | 1,290 | 0,690 | 3,180 | 2,360 | -0,420 | 1,290 | muy mal clasificados | MATG/muy altas | leptokúrtica o aguda |
| 12 Playita | -6,640 | -4,320 | -2,380 | 0,152 | 0,837 | 0,737 | 1,890 | 0,152 | 3,280 | 2,360 | -0,673 | 1,080 | muy mal clasificados | MATG/muy altas | mesokúrtica o normal |

La mediana (Md) calculada permitió ordenar de manera creciente la energía cinética media (ECM) del ambiente sedimentario de la siguiente manera: Mercado Público < Costa del Este < Panamá Viejo (2) < Santo Tomás, Panamá Viejo (1) < Barrazas < Punta Pacífica < Bóvedas < Matasnillo < Naos < Rampa < Playita. De manera similar, la media aritmética (Mz) que representa el centro de gravedad de la distribuciones y traduce la energías cinética del ambiente sedimentario, las ordenó como sigue: Costa del Este, Panamá Viejo (1), Panamá Viejo (2), Rampa, Naos, Playita < Santo Tomás, Barrazas, Bóvedas < Punta Pacífico, Mercado Público, Matasnillo (Cuadro 2).

La comparación de la posición de la Mz respecto a la Md define la asimetría (Skq) de estos sedimentos (Cuadro 2). Esta disimetría define los sedimentos de Costa del Este, Panamá Viejo (1), Panamá Viejo (2) y Punta Pacífico como muy asimétricos hacia el tamaño fino (MATF) por contener abundantes arenas medias y finas. Sin embargo, los sedimentos de Rampa, Matasnillo, Santo Tomás Barrazas, Naos y Playita, los identifica como muy asimétricos hacia el tamaño grueso (MATG) por la predominancia de las arenas gruesa y media. Las asimetrías negativas de los sedimentos de Barrazas, Bóvedas, Matasnillo, Naos, Rampa y Playita son características de playas intermareales (Parrado & Achab 1999).

No existe uniformidad en el tamaño de grano en los distintos depósitos sedimentarios, el 58.3% de los sedimentos son mal clasificados y el 41.7% muy mal clasificados, predominando en un 60% las oscilaciones de energía cinética media (ECM) muy altas en sedimentos muy asimétricos hacia el tamaño grueso (MATG), bajas (7%) en sedimentos muy asimétricos hacia el tamaño fino (MATF), muy bajas (26%) en sedimentos asimétricos hacia el tamaño fino y nulas (7 %) en sedimentos casi simétricos.

La kurtosis o agudeza gráfica (Fig. 2, Cuadro 2) se interpreta como la relación entre la clasificación de la zona central (50%) y colas (95%) de la distribución y diferencia sedimentos leptokúrticos (Costa del Este, Rampa, Naos), muy leptokúrticos (Santo Tomás), extremadamente leptokúrticos (Panamá Viejo) y mesokúrticos (Matasnillo).



Materia orgánica

Los porcentajes de materia orgánica en la Bahía de Panamá resultaron bajos, entre 0,13 y 1,23%, valores típicos de sedimentos arenosos, ambientes hidrodinámicos y abiertos (Cuadro 1). Los porcentajes más altos se encontraron en Costa del Este (1,23%) y Mercado Público (0,88%), concentraciones aproximadamente dos veces más bajas se registraron en Panamá Viejo, Punta Pacífico, Matasnillo, Santo Tomás (0,45-0,56%), y cuatro veces menores en Rampa, Bóvedas, Barrazas, Naos y Playita (0,13-0,21%). Esta acumulación de materia orgánica covarió positiva y significativamente con las texturas granulométricas arena fina, arena muy fina y limo- arcilla ($r > 0,50$, Cuadro 3); sin embargo, la covarianza con las fracciones de arena más gruesa fue negativa ($r < -0,50$).

Metales pesados

Cu

El Cu manifestó un comportamiento uniforme con concentraciones que variaron desde $17 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ hasta $43 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, sin embargo en los sedimentos del área costera del mercado Público el contenido de Cu resultó muy elevado ($129 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Estas concentraciones superan a $25 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, informado por Wedepohl (1995) en la corteza terrestre; pero están incluidas en el intervalo de 0.1 a $86 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ reportado para los

sedimentos de Port Jefferson Harbor (Breslin & Sañudo – Whihelmy 1999), excepto en los sedimentos del Mercado que sobrepasan el valor de $10 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ considerado por Sadiq (1992) como normal en sedimentos prístinos (Cuadro 1, Fig. 3).

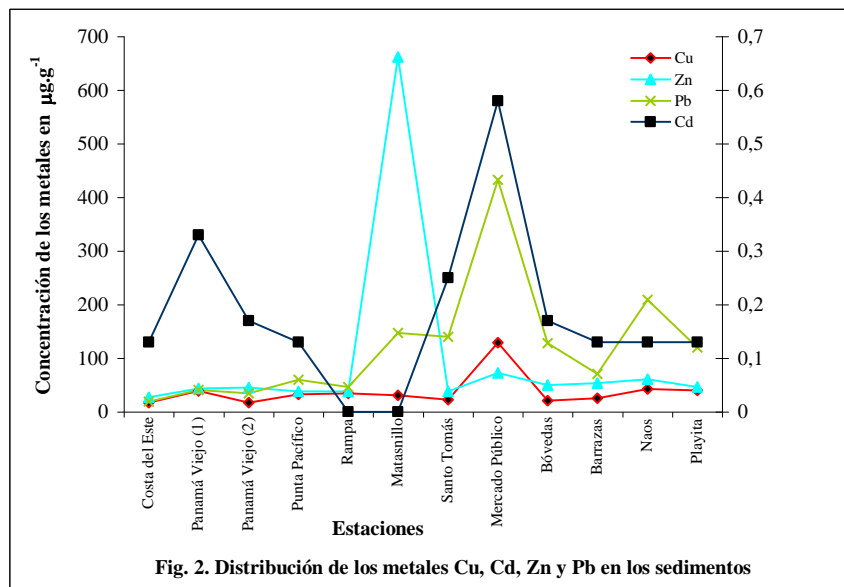


Fig. 2. Distribución de los metales Cu, Cd, Zn y Pb en los sedimentos

Cd

El Cd mostró concentraciones desde 0.13 a $0.58 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, excepto en los sedimentos costeros de la Rampa y Matasnillo (Cuadro 1, Fig. 3, escala secundaria). A pesar de eso, el valor es menor al de $1,0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ registrado por Sadiq (1992) para sedimentos no contaminados, lo que señala que a pesar de que existe un aporte contaminante, este no ha alcanzado un nivel crítico.

Zn

En la Fig. 3 se representa la distribución horizontal del Zn, cuyo contenido fluctuó entre 27 y $73 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Cuadro 1). Este último valor rompe la uniformidad de la distribución y coincide con los máximos de Cu y Cd en los sedimentos de la zona costera que colinda con el Mercado Público. Cabe resaltar que en la mayoría de las localidades, las concentraciones de Zn estuvieron por debajo de $65 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,

reportado para la corteza terrestre, sin embargo todas están incluidas dentro de los rangos encontrados en la Bahía de Cádiz y en el área de Port Jefferson (Wedepohl 1995; Breslin & Sañudo–Wilhemy 1999; Ponce et al., 2000).

Pb

Este metal fue detectado en todas las localidades estudiadas y sus concentraciones variaron entre 19 (Costa del Este) y 433 $\mu\text{g.g}^{-1}$ (Mercado Público). En la Fig. 3 se resalta el aumento de las concentraciones desde Matasnillo hasta Naos (140 - 433 $\mu\text{g.g}^{-1}$). Las concentraciones superan el valor de 5 $\mu\text{g.g}^{-1}$ considerado por Sadiq (1992) como la concentración natural de los sedimentos; al rango 34,4 a 69,66 $\mu\text{g.g}^{-1}$ informado para los sedimentos de la Bahía de Cádiz, analizada por Ponce et al. (2000), la cual fue catalogada como poco contaminada y a los valores del Muelle de Port Jefferson reportado por Breslin & Sañudo–Wilhemy (1999) como contenido de niveles de metales comunes a las encontradas en áreas costeras protegidas.

En general, se encontró que todos los metales fueron afines ($0,42 < r < 0,67$) con la fracción granulométrica de arena muy fina (AMF). Además el Cu se relacionó directamente con arenas medias, Cd, Zn y Pb ($r > 0,40$); Cd con arenas muy gruesas, gruesas, finas, Zn y Pb ($r > 0,45$); y el Zn con la fracción menor de 63 μm y Pb ($r > 0,60$). Excepto el Cd ($r = 0,40$), los metales no mostraron correlación significativa con la materia orgánica (Cuadro 3).

Cuadro 3. Matriz de correlación de Pearson

| | AMG | AG | AM | AF | AMF | Limo y arcilla | Cu | Cd | Zn | Pb | MO |
|-----------------------|-------|-------|-------|------|------|----------------|------|------|------|------|------|
| AMG | 1,00 | | | | | | | | | | |
| AG | 0,69 | 1,00 | | | | | | | | | |
| AMG | 0,47 | 0,33 | 1,00 | | | | | | | | |
| AF | 0,86 | 0,79 | 0,19 | 1,00 | | | | | | | |
| AMF | 0,63 | 0,65 | 0,16 | 0,6 | 1,00 | | | | | | |
| Limo y Arcilla | 0,01 | 0,43 | 0,16 | 0,01 | 0,42 | 1,00 | | | | | |
| Cu | 0,15 | 0,11 | 0,42 | 0,2 | 0,60 | 0,17 | 1,00 | | | | |
| Cd | 0,53 | 0,46 | 0,12 | 0,56 | 0,67 | 0,21 | 0,76 | 1,00 | | | |
| Zn | 0,14 | 0,10 | -0,44 | 0,20 | 0,60 | 0,60 | 0,67 | 0,86 | 1,00 | | |
| Pb | 0,13 | 0,04 | 0,15 | 0,06 | 0,43 | -0,24 | 0,88 | 0,67 | 0,88 | 1,00 | |
| MO | -0,53 | -0,68 | -0,01 | 0,52 | 0,76 | 0,63 | 0,25 | 0,4 | 0,17 | 0,12 | 1,00 |

DISCUSIÓN

La distribución de las partículas finas está controlada por la batimetría, los patrones de circulación, las corrientes de marea y el tráfico marino. La presencia de material más grueso puede ser el resultado de operaciones de dragado, construcción y/o procesos naturales como la exposición de la costa a fuertes vientos (Breslin & Sañudo-Wilhelmy 1999; Johannesson et al., 2000; Romano et al., 2004).

La predominancia de sedimentos arenosos medios, finos y muy finos es propia de ambientes marinos que poseen variaciones de energía cinética media (ECM) suficientemente altas para arrastrar el material más fino y permitir la deposición del grueso, excepto cuando hay un cambio de dirección. Esta interpretación concuerda con la mediana (Md) calculada de las muestras recolectadas.

Martínez (1986) señala que la mala y muy mala clasificación de los sedimentos puede deberse a que las frecuencias significativas no corresponden a diámetros próximos entre sí, lo que implica que existen separaciones largas entre pares de percentiles y fluctuaciones amplias de energía cinética en el ambiente. En este sentido, puede decirse que la mala y muy mala clasificación de los sedimentos es debida a la presencia de solo tres o cuatro de las fracciones granulométricas (grava, arena, limo, arcilla) con categorías muy particulares.

Los comportamientos leptokúrticos, muy leptokúrticos y extremadamente leptokúrticos muestran un proceso de acumulación libre y la deposición de granos de tamaño muy próximos entre los valores externos centrales (50 – 90%) debida a una situación prolongada de energía cinética media que permite la deposición de esos detritos con una buena clasificación. Con una predominancia de arenas finas, la curva angulosa significa que hay, en el ambiente sedimentario, una energía cinética media baja, durante un tiempo superior al normal, que afecta las frecuencias centrales. Si por el contrario, predominan las arenas gruesas, la curva traduce que lo que dura ahora un tiempo superior al normal, es una energía cinética media alta (Martínez 1986).

El comportamiento mesokúrtico o normal se interpreta como ausencia de oscilaciones de ECM en la región central de la distribución, provocando una buena clasificación.

La data de materia orgánica en la Bahía de Panamá refleja aportes de sustancias de suelos húmicos superficiales acarreadas en las aguas de ríos, tributarios y escorrentías, y aportes antropogénicos, los cuales son más influyentes en Costa del Este y en el área costera del Mercado Publico. Este material es adsorbido en las fracciones granulométricas más finas y escasamente asociado a la presencia de metales Cu, Cd, Pb y Zn, probablemente por provenir de fuentes distintas. Esta adsorción sugiere que la dispersión de los sedimentos, en la costa, ejerce un control primario en la deposición de la materia orgánica sedimentada en las márgenes influenciadas por los ríos vía asociación materia orgánica – mineral.

En este sentido, muchos investigadores señalan que, en los sistemas oceánicos abiertos, como la Bahía de Panamá, las entradas de materia orgánica son dominadas por el fitoplancton. No obstante, la materia orgánica erosionada de los ecosistemas terrestres es la principal fuente en las márgenes costeras e interactúa con partículas minerales. El alcance de estas interacciones aumenta con la disminución del tamaño de la partícula, en respuesta al incremento del área de la superficie del mineral reactivo y la presencia de cationes multivalentes en complejos intercambios catiónicos y varios óxidos e hidróxidos. Estas partículas muy pequeñas o finas pueden ser clásticas y/o biogénicas, arcillas, óxidos y oxihidróxidos de hierro y aluminio, etc. (Bladock et al., 2004; Benner 2004; Gordon & Goñi 2004). Ishiwatari (1992) afirma que los componentes mayoritarios de la materia orgánica son sustancias húmicas, cuya floculación causa cambios significativos en el comportamiento bioquímico de otras sustancias químicas, como los metales y controlan la transferencia bioquímica y la bioaccesibilidad de contaminantes orgánicos.

Los sedimentos marinos son sumideros de metales, transportados por ríos u otras corrientes de agua, liberados por meteorización o por las actividades humanas en el ecosistema terrestre. Su distribución depende de las condiciones hidrodinámicas de la cuenca sedimentaria, de las características de las partículas minerales y de la cantidad de materia orgánica acumulada o transportada (Bladock et al., 2004; Hung & Hsu 2004). Su contaminación es un asunto muy serio de considerar debido a que muchos químicos tóxicos se enlazan a los sedimentos y pueden permanecer en ellos por largos períodos de tiempo. Los análisis químicos pueden indicar la cantidad de

contaminantes químicos específicos pero no puede indicar el daño a la biota, a su sobrevivencia o en sus funciones fisiológicas normales (Weis et al., 2004).

En este estudio, las correlaciones positivas ($p < 0,001$) entre las concentraciones de metales, entre ellos y el carácter más fino de los sedimentos (AMF) refleja la tendencia la influencia que ejerce el tamaño del grano sedimentario en la distribución espacial de los metales y la materia orgánica en los sedimentos superficiales (Alvarez & Rubio 2000; Hung & Hsu 2004).

Breslin & Sañudo – Wilhelmy (1999) relacionaron la contribución del Cu y Zn en Port Jefferson Harbor con sistemas de enfriamiento de muelles como resultado de la erosión y corrosión de las aleaciones de Cu-Ni-Zn de los tubos de los condensadores del sistema de enfriamiento. Igualmente, explican que las actividades de mantenimiento y reparación de embarcaciones como las pinturas antifouling y de protección catódica han sido identificadas previamente como fuentes de Cu y Zn, en estuarios y puertos. Además, el preservativo de maderas arseniato de cobre cromado usado para la construcción de muelles y evitar el deterioro de la madera por hongos y horadores marinos es una fuente adicional de Cu y Cr. Ponce et al. (2000) encontraron niveles elevados de Zn y Cu en áreas de Bahía de Cádiz próximas a industrias relacionadas con la construcción naval. Situaciones semejantes podrían estar ocurriendo en el área analizada, corroborado por las fuertes correlaciones mostradas por el Cu y Zn. Sin embargo, es preocupante la situación del área del Mercado Público altamente impactada por los desechos industriales y domésticos que descargan al ecosistema, y que se acumulan favorablemente en las arenas finas y muy finas. Hung & Hsu (2004) señalan que los patrones de sedimentación de los diferentes metales dependen de la abundancia o riqueza de las fuentes terrestres, la diferente especiación sólida, la distinta respuesta al incremento de salinidad, y/o la bioaccesibilidad diferencial y la caída de la partícula desde la columna de agua.

Las correlaciones positivas y significativas Pb-Cu, Pb-Zn, probablemente, indican que tales elementos traza constituyen fracciones de un mismo material químico que afecta el ecosistema.

Mac Donald et al. (1991) señalaron que fuertes asociaciones Zn-Cu-Pb son indicios de aportes producto de las actividades del hombre.

Hung & Hsu (2004) informan que la fuente de Pb más importante parece ser el aporte a la atmósfera de residuos de combustible (tráfico rodado y flotante) y la liberación de aguas de desecho al ambiente. Este metal, altamente tóxico, verificó su acumulación en sedimentos finos (Alvarez et al., 2000).

La calificación del ecosistema referente a la contaminación es difícil, debido a la diversidad de criterios señalados en la literatura; sin embargo, considerando los registros para algunas áreas geográficas (Sadiq 1992; Wedepohl, 1995; Breslin & Sañudo – Wilhelmy 1999; Ponce et al., 2000; Hung & Hsu 2004), las concentraciones obtenidas en la investigación se puede deducir que además de la influencia litológica, existen aportes antropogénicos evidentes. Todo esto permite indicar que el ecosistema actualmente está en una situación intermedia entre un sistema no contaminado y de contaminación moderada. Para el cadmio y el plomo la situación es diferente debido a que gran parte de los puntos de colecta presentan concentraciones preocupantes. Los bajos niveles registrados en el resto de los metales no deberían tener grandes efectos en el ambiente marino- costero panameño; debido a que el país no cuenta con un desarrollo minero y no existe industria metalúrgica pesada. Sin embargo, se han reportado concentraciones de cadmio que oscilan entre 0.030 y 0.038 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ en moluscos, concentraciones de 0.03 a 16.0 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ en crustáceos. En peces se han encontrado valores de concentración de mercurio por el orden de 0.10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ y de cadmio 0.03 a 0.40 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. (ANAM 2004). En ese sentido los recursos pesqueros en la Bahía de Panamá se pueden ver afectados por la calidad del agua y los sedimentos, lo que sugiere realizar estudios en matrices de tejido animal y agua en los mismos puntos de colecta.

CONCLUSIONES

Los sedimentos de la Bahía de Panamá son arenosos. Todos ellos mal y muy mal clasificados. Existen fuertes turbulencias con fluctuaciones amplias de energía cinética media. La acumulación en la zona es forzada.

Las características batimétricas, hidrodinámicas y los procesos de sedimentación determinan la textura de los sedimentos y la distribución de la materia orgánica, sin embargo esta última no condicionó la distribución de los metales traza en los sedimentos superficiales de la Bahía.

Los metales trazas se acumularon preferiblemente en sedimentos finos, menores de 125 μm ($>3\Phi$). El orden de acumulación fue $\text{Cd} < \text{Cu} < \text{Zn} < \text{Pb}$, procedentes tanto de fuentes naturales como de fuentes ajenas. Las concentraciones de los metales mostraron la relación de cercanía existente entre la fuente antropogénicas y las localidades afectadas. Estas fuentes son derivadas de las actividades portuarias, construcción naval, industriales y domésticas. El ecosistema está impactado preocupantemente por Pb.

REFERENCIAS

Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM). 2004. Informe del estado del ambiente 100 pp.

Anfuso, G., M Achab, G. Cultrone, & F. López-Aguayo. 1999. Utility of heavy minerals distributon and granulometric analices in the study of coastal dynamics: Application to the litoral between Sanlúcar de Barrameda and Rota (Cadiz, southwest Iberian Peninsula). *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 15(1-4): 243-250.

Alvarez - Iglesias, Rubio, P & F. Vilas. 2000. Plomo en sedimentos y organismos de la ensenada de San Simón. *Thalassas* 16: 81-94.

Baldock, J., C. Masiello, Y. Gélinas & J. Hedges. 2004. Cycling and composition of organic matter in terrestrial and marine ecosystems. *Mar. Chem.* 92: 39-64.

Balls, P., S. Hull, B. Miller, J. Pirie & W. Proctor. 1997. Trace metal in Scottish estuarine and coastal sediments. *Mar. Pol. Bull.* 34(1): 42-50.

Benner, R. 2004. What happens to terrestrial organic matter in the ocean?. *Mar. Chem.* 92:307-310.

Breslin, V. & S. Sañudo-Wilhelmy. 1999. High spatial resolution sampling of metals in the sediment and water column in Port Jefferson Harbor, New York. *Estuaries* 22(3a): 669 – 680.

Blott, S. & K. Pye. 2001. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth. Surf. Process. Landforms* 26: 1237-1248.

Carmody, O. J., B. Pearce & J. Yasso. 1973. Trace metals in sediments of New York Bight. *Mar. Poll. Bull.* 4:132-135.

Codina, J. & A. Pérez. 2001. Metales pesados como polucionantes tóxicos. *Enviro. Contam. Toxicol.* 25: 250-254.

Durán, I.L., M.V. Fuentes & J.A.Gómez H. 2004. Concentración de cadmio, plomo y cobre en *Anadara tuberculosa* del manglar de la Isla Taborcillo, Punta Chame, República de Panamá. *Tecnociencia*. Vol .6, N°2, 91-104.

Folk, R. 1966. A review of grain size parameters. *Sedimentology* 6:73-93.

Folk, R. & W. Ward. 1957. Brasos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sedim. Petrol.* 22 (3):125-145.

Fuentes, M.V. 1999. Metales trazas en los sedimentos superficiales de la Laguna de Chacopata, Edo. Sucre, Venezuel. *Scientia*. Vol. 14, N°1, 97-116.

Garcia-Montelongo, F., C. Díaz., L. Galindo, M.S. Larrechi & X. Rius. 1994. Heavy metals in three fish species from the coastal waters of Santa Cruz de Tenerife (Canary Islands). *Scientia Marina* 58 (3) 179-183.

Gordon, E. & M. Goñi. 2004: Control on the distribution and accumulation of terrigenous organic matter in sediments from the Mississippi and Alchafalaya river margin. *Mar. Chem.* 92: 331-352.

Hung, J. & C. Hsu. 2004. Present state and historical change of trace metal pollution in Kaoping coatal sediment southwestern, Taiwan. *Mar. Poll. Bull.* 49: 986-998.

Inman, D. 1952. Measures for describing the size distribution of sediments. *J. Sed. Petrol.* 22(1):13-26.

Ishiwatari, R. 1992. Macromolecula material (humic substance) in the water column and sediments. *Mar. Chem.* 39:151-166.

Johannesson, L., R. Stevens & J. Alexanderson. 2000. Sediment character in a microtidal, harbor–estuary environment, Göteborg, Sweden. *Estuaries* 23(3):400-410.

Krumbein, W. 1936^a. Application of logarithmic moments to size frecuecy distributions of sediments. *J. Sed. Petrol.* 6 (1):35-37.

_____.1964^b. Some remarks on the phi notation. *J. Sed. Petrol.* 34 (1):195-197.

Lewis, B. L. & W. M. Landing.1992. The investigation of dissolved and suspended particulate trace metal fractionation in the Black Sea. *Mar. Chem.* 40: 105-141.

Llano, M. 1987. Dinámica sedimentaria de la laguna de Punta de Piedras I: época de mareas mínimas. *Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*. XLVII (127-128): 37-75.

Macdonald, R., M. Macdonald, M. O'Brien & C. Gobeil. 1991. Accumulation of heavy metals (Pb, Zn, Cu, Cd), carbon and nitrogen in sediments from straight of Georgia, B. C., Canada. *Mar. Chem.* 34:109-135.

Martínez, J. 1986. Metodologías granulométricas. Seguimiento de playas. Universidad Politécnica de Las Palmas, Las Palmas, España. .1 - 58.

Martínez, G & W. Senior. 2002. Especiación de Cd, Zn, Cr y Pb en núcleos de sedimentos de la Bahía de Bergantín, Edo. Anzoátegui, Venezuela. *Interciencia*. Vol. 27 N° 4, 173-179.

Parrado, J. & M. Achab. 1999. Grain size trends associated with sediment transport patterns Cadiz Bay (southwest Iberian Peninsula). *Bol. Inst. Esp. Oceanog.* 15(1-4): 169-282.

Ponce, R., J. Forja & A. Gómez – Parra. 2000. Influencia de la actividad antropogénica en la distribución vertical de la actividad antropogénica en la distribución vertical de Zn, Cd, Pb y Cu en agua intersticial y sedimentos marinos costeros (Bahía de Cádiz, SW de España). *Ciencias Marinas* 26(3): 479 – 502.

Rubio, B., M. Nombela, F. Vilas, J. Alejo, S. García-Gil, E. García-Gil, & O. Pazos. 1995. Distribución y enriquecimiento de metales pesados en sedimentos actuales de la parte interna de la ría de Pontevedra. *Thalassia* 11:35-45.

Sadiq, M. 1992. Toxic metal Chemistry in marine environments. Marcel Dekker, Inc. New York, 390 pp.

Shepard, F. 1973. Submarine geology. Third edition. Harper & Row, Publishers, Inc. 517 pp.

Tanner, W. 1964. Modification of sediment size distribution. *J. Sed. Petrol.* 34 (1):156- 164.

Wedepohl, K. H. 1995. The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59,1217 -1232.

Weis, J., J. Skurnick & P. Weis. 2004. Studies of a contaminated brackish marsh in the Hackensack Meadowlands of Northeastern New Jersey: benthic communities and metal contamination. *Mar. Poll. Bull.* 49: 1025-1035.

Wentworth, C. 1936. Discussion: The method of moments. *J. Sed. Petrol.* 6 (3):158-159.

Williamson, R. & D. Morrisey. 2000. Stormwater contamination of urban estuarios. Predicting the build up of heavy metals in sediments. *Estuaries* 23 (1): 46-66.

Recibido octubre de 2005, aceptado enero de 2006.