

Metales traza en sedimentos costeros de Costa Rica

Jairo García-Céspedes¹, Jenaro Acuña-González^{1, 2, 3} & José A. Vargas-Zamora¹

- 1 Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología, CIMAR, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica. Fax: (506) 207-3280.
- 2 Centro de Investigación en Contaminación Ambiental, CICA, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica. Fax: (506) 207-4479.
- 3 Escuela de Química, Universidad de Costa Rica, 2060 San José, Costa Rica; jacuna@cariari.ucr.ac.cr

Recibido 22-I-2004. Corregido 15-VII-2004. Aceptado 25-VIII-2004.

Abstract: Marine sediment samples from four coastal ecosystems in Costa Rica were taken between the years 2000-2002 and their iron, lead, copper and zinc concentrations were determined by the atomic absorption technique with flame or graphite furnace. In the Pacific coast, Culebra Bay (Papagayo Gulf), Gulf of Nicoya, and Golfito Bay (Dulce Gulf), were selected as representative sites, and Moín Bay, at the Caribbean coast. Mean metal concentrations for all ecosystems followed the same pattern: Fe > Zn > Cu > Pb. No temporal pattern was found for any metal. Iron and copper mean concentrations were higher in Golfito Bay (5.8% and 87 µg / g, respectively) and lower in Moín Bay (3.4% and 52 µg / g, respectively). Zinc mean concentration was also higher in Golfito Bay (96 µg / g), but lower in Culebra Bay (66 µg / g). Lead mean concentration was higher in Moín Bay (6.4 µg / g) and lower in Culebra Bay (3.0 µg / g). Lead highest concentrations occurred in the Caribbean and in Golfito Bay, and for the rest of the elements the maximum values were found in Golfito Bay. On the basis of data obtained in this work, Culebra Bay was considered a relatively unpolluted location; Golfito Bay was more contaminated, and Moín Bay and the Gulf of Nicoya showed an intermediate condition.

Key words: marine pollution, trace metals, Fe, Zn, Cu, Pb, Caribbean, Pacific, Costa Rica.

La distribución de metales traza en los sedimentos de los ecosistemas costeros está influenciada por las fuentes naturales o antrópicas, que los suministran y los movilizan (Madureira *et al.* 2003, Prego *et al.* 2003, Páez-Osuna 1996). Los metales pueden ser oxidados, reducidos o complejados, dependiendo del dinamismo del entorno químico en el que se localicen; así se forman especies que tienen diferente grado de asimilación o de toxicidad por parte de los organismos, e incluso podrían quedar biológicamente no disponibles. Entre los metales que se considera que representan un mayor riesgo de contaminación ambiental están, además del mercurio y del cadmio, el zinc, el cobre y el plomo (Páez-Osuna 1996). Algunos, como el hierro y el

manganeso, son necesarios para la vida en bajas concentraciones; pero en general, cuando aumentan las concentraciones de los metales en los ecosistemas, muchos organismos experimentan un estrés que les resta posibilidades de sobrevivir; otros, por el contrario, han desarrollado mecanismos de detoxificación fisiológica, mediante los cuales se excreta o se inmoviliza químicamente a los metales por medio de la complejación con proteínas o con matrices minerales inertes, de ahí el fenómeno de la bioconcentración (Conder & Lanno 2003, Clark, 2001, Gutiérrez-Galindo *et al.* 1999, Botello *et al.* 1996). La relativa estabilidad de los sedimentos costeros favorece la evaluación de la presencia de metales, los cuales no son biodegradables y persisten en los ecosistemas

bajo diferentes formas químicas. Su cuantificación permite establecer los niveles característicos en ese ambiente y revelar situaciones anómalas de concentraciones que podrían afectar a los organismos de ese ecosistema o convertirse en una amenaza para la salud humana (Gutiérrez-Galindo *et al.* 1999, Botello *et al.* 1996).

Los objetivos de este estudio fueron conocer los ámbitos de concentración de los metales: hierro, zinc, cobre y plomo, en muestras de sedimentos de cuatro ecosistemas costeros de Costa Rica, y comparar estos ecosistemas en cuanto a la concentración promedio de dichos metales. En el Océano Pacífico se eligieron la Bahía Culebra, la región externa y media del Golfo de Nicoya y la bahía de Golfito; en el Caribe la bahía de Moín (Fig. 1). Estas regiones son notoriamente contrastantes entre sí en sus características oceanográficas y ecológicas, al igual que en las sociales, económicas, históricas y culturales. La costa del Pacífico de Costa Rica presenta muchos accidentes geográficos que forman bahías, esteros y golfos de una dinámica oceanográfica particular (von Wangelin & Wolff 1996). Bahía Culebra, situada en el Golfo de Papagayo, es una zona de surgencia de aguas profundas, sobre todo durante la estación seca (Jiménez 2001), y, dada su belleza escénica, ha sido el foco de un firme desarrollo turístico en los últimos años; incluso se proyecta construir en sus aguas una marina de grandes dimensiones. La región externa y media del Golfo de Nicoya, es parte de un estuario tropical poco profundo, dinámico, productivo y concentra una de las actividades pesqueras más importantes del país. En el Golfo de Nicoya se asientan tres puertos fundamentales para el desarrollo nacional: en Puntarenas, en Caldera y en Punta Morales. La gran cuenca del golfo recoge las aguas de escorrentía de una amplia área agrícola y posee un considerable componente de actividades pecuarias, industriales (como la producción de agroquímicos, el turismo, el transporte de productos industriales), y domésticas, que tiene como corolario el vertido de aguas servidas directa o indirectamente al golfo y desde la



Fig. 1. Localización de los ecosistemas costeros de Costa Rica, en donde se determinó la concentración de metales en sedimentos, entre los años 2000 y 2002.

ciudad de Puntarenas al estero de Puntarenas (Acuña *et al.* 1998). La dinámica particular de la circulación en el Golfo de Nicoya puede favorecer, en los momentos de una fuerte descarga del río Tempisque, un importante flujo de agua salina en el fondo que se dirige hacia el interior del golfo; este tipo de circulación estuarina promueve una lenta concentración de contaminantes, tal como lo sugirió Lizano (1998). En la zona central de la ribera este del Golfo Dulce se encuentra la bahía de Golfito, caracterizada por sus aguas someras, la afluencia de pequeños ríos y la presencia de manglares. En una estrecha franja de tierra baja, a lo largo de la línea de la costa, se asienta la ciudad de Golfito, cuyas principales actividades económicas giran en torno al funcionamiento de un complejo de Depósito Libre y a las labores portuarias. Realmente, la actividad pesquera es de pequeña escala, llegando solo a un 3% de los desembarques pesqueros del país (Wolff *et al.* 1996). La costa caribeña de Costa Rica es casi rectilínea y tiene mareas poco pronunciadas, cuyas alturas, por lo general, no alcanzan magnitudes de medio metro, lo que es bajo comparado con el promedio de alrededor de 2.5 m que se experimenta en la costa pacífica. El litoral Caribe de Costa Rica se caracteriza por estar expuesto a una extensa y fuerte corriente marina superficial en dirección sureste. En una plataforma coralina fósil se asienta la ciudad de Limón y, además, se encuentran los

importantes puertos de Limón y de Moín. En las cercanías del puerto de Moín están ubicadas una planta termoeléctrica, la única refinería de petróleo del país y varias bodegas de almacenamiento de fertilizantes y otras sustancias (Acuña 1993).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron muestras de sedimentos entre los años 2000 y 2002, en cuatro diferentes ecosistemas costeros de Costa Rica: tres en el Océano Pacífico y uno en el Caribe (Fig. 1), en los meses indicados en el Cuadro 1. Los materiales plásticos y la cristalería de laboratorio utilizados, fueron sumergidos, hasta por tres días, en una disolución de ácido nítrico bidestillado, luego enjuagados con agua *Milli-Q*[®] y almacenados protegidos de manera adecuada. Las muestras se extrajeron con barrenos plásticos, que fueron introducidos hasta una profundidad de unos 15 cm en el sedimento.

Del material extraído, se depositaron en bolsas plásticas, las capas superficiales de 5 cm de espesor; se transportaron en frío al laboratorio y se congelaron a -20°C hasta el momento de iniciar el análisis. Una vez descongeladas, se dejaron secar a temperatura ambiente en compartimentos aislados, para prevenir la contaminación por metales. Las muestras secas se homogeneizaron en un mortero de porcelana y se pasaron por un tamiz plástico de $62\ \mu\text{m}$ de abertura; luego, de cada una se midió exactamente entre 0.3 y 0.5 g y se las sometió a una digestión húmeda con ácido nítrico bidestillado y peróxido de hidrógeno. Se eliminaron los sólidos remanentes y se trasvasó el líquido supernatante a un balón aforado de 50,0 ml que se llevó a la marca con agua *Milli-Q*[®]. Paralela y periódicamente, se realizaron ensayos en blanco. Las disoluciones se analizaron por espectroscopia de absorción atómica, en un aparato *Perkin Elmer*[®] 3300 con atomizador de llama para determinar hierro, zinc y cobre. Para cuantificar el plomo se acopló al sistema de

CUADRO 1

Sitios seleccionados en cuatro ecosistemas costeros de Costa Rica, para la determinación de metales en sedimentos, en los años 2000 – 2002. Se incluye el código de cada estación donde se tomaron las muestras

Ecosistema	Fecha de muestreo (mes)			Código de los sitios	Descripción
	Año 2000	Año 2001	Año 2002		
Mar Caribe	Ene, Feb, Mar,	Feb, Mar,	Ene, Mar,	MCA	Frente al muelle Moín
	Ago, Oct.	May.	Jul.	MCB	Bahía Moín, contiguo a la boya de navegación roja
				MCC	Bahía Moín, contiguo a la boya de navegación verde
Golfo de Nicoya	Mar, Abr,	Mar, Jun,	Mar, May,	PMA	Punta Morales, entre las Islas Cortezas
	Jul, Set.	Set, Oct.	Jun, Jul.	PMB	Frente a la Isla Caballo
				PMC	Frente a la Punta Puntarenas
Golfo Dulce	May, Oct, Nov.	Nov	Feb, May, Nov.	GDA	Frente a la isla dentro de bahía Golfito
				GDB	Frente a playa Cacao
				GDC	Salida del canal de navegación al Golfo Dulce
				GDD	Frente al Cementerio de Golfito
				GDF	Muelle Nacional
				GDG	Faro a la entrada a Golfito desde Golfo Dulce
Bahía Culebra	Jun, Oct	May	May	BCA	Frente a Playa Panamá
				BCB	Frente a Playa Nacascolo
				BCC	Frente al Hotel Smeralda
				BCD	Frente a Playa Iguanita
				BCH	Frente al Hotel Papagayo
				BCM	Entrada a la bahía, frente al islote Cabeza de Mono

absorción atómica un horno de grafito. Se construyeron curvas de calibración con patrones certificados de cada uno de los elementos. Los resultados de hierro se expresaron en porcentaje de masa de Fe por masa de la muestra seca. Las demás concentraciones se expresaron en partes por millón del metal ($\mu\text{g} / \text{g}$), también en masa seca de sedimento. Se aplicaron pruebas *t*, entre ellas un análisis de la varianza (ANDEVA) de dos colas, para estudiar estadísticamente los datos obtenidos (Miller & Miller 1993).

RESULTADOS

Metales individuales: El hierro fue el metal más abundante en la totalidad de las muestras de sedimento analizadas. Representó entre el 99.4% y el 99.8% de la carga total de los metales investigados. Los valores de concentración promedio de hierro, por ecosistema, definieron el siguiente orden de abundancia decreciente: Golfito (5.8%) > Bahía Culebra (4%) > Golfo de Nicoya (3.9%) > Moín (3.4%). De los elementos restantes, sin considerar al hierro, el zinc constituyó entre el 39.0% y el 88.1% de la carga de metales analizados. El orden descendente de la concentración promedio de zinc en los ecosistemas del estudio fue: Golfito ($96 \mu\text{g} / \text{g}$) > Moín ($84 \mu\text{g} / \text{g}$) > Golfo de Nicoya ($71 \mu\text{g} / \text{g}$) > Bahía Culebra ($66 \mu\text{g} / \text{g}$). De nuevo, sin considerar al hierro, el cobre representó entre el 23.5% y el 54.7% de la carga de metales analizados. Las concentraciones promedio de cobre se distribuyeron de manera descendente así: Golfito ($87 \mu\text{g} / \text{g}$) > Golfo de Nicoya ($64 \mu\text{g} / \text{g}$) > Bahía Culebra ($58 \mu\text{g} / \text{g}$) > Moín ($52 \mu\text{g} / \text{g}$). Finalmente, del grupo de elementos analizados, excluyendo al hierro, el plomo conformó entre el 0.7% y el 6.6%. En los sedimentos de los ecosistemas se encontraron concentraciones promedio de plomo que en orden descendente fueron: Moín ($6.4 \mu\text{g} / \text{g}$) > Golfito ($6 \mu\text{g} / \text{g}$) > Golfo de Nicoya ($5 \mu\text{g} / \text{g}$) > Bahía Culebra ($3 \mu\text{g} / \text{g}$).

Las concentraciones medias de hierro y de cobre fueron mayores en las muestras de Golfito y menores en Moín. La concentración

media de zinc fue mayor también en Golfito, pero menor en las muestras de Bahía Culebra. La concentración media de plomo fue mayor en Moín y menor en Bahía Culebra. En Golfito se encontró una concentración media de plomo muy similar al valor máximo. Las concentraciones medias de los elementos en el Golfo de Nicoya estuvieron en tercer lugar para el hierro, el plomo y el zinc, pero en segundo lugar para el caso del cobre.

Las dispersiones de las concentraciones, expresadas por medio del coeficiente de variación (CV), reflejaron la variabilidad en los ambientes estudiados. Tomando en cuenta todos los datos, la dispersión de los valores fue mayor para el plomo (CV = 43%) que para el resto de los elementos, los cuales presentaron valores similares (CV: Fe = 30%; Cu = 29%; Zn = 24%). Considerados por ecosistemas, los datos más dispersos correspondieron a Bahía Culebra en el caso del plomo (CV = 47%), del hierro (CV = 45%) y del cobre (CV = 37%). La dispersión en Golfito para el plomo fue análoga a la de Bahía Culebra (CV = 44 %). En Moín la dispersión del zinc (CV = 27%) fue semejante a la de Bahía Culebra (CV = 26%), que fueron las máximas; los otros ecosistemas presentaron coeficientes de variación inferiores a los indicados. Las dispersiones en el Golfo de Nicoya, sitio donde el muestreo fue más intenso, resultaron de las más bajas para el hierro, el cobre y el zinc. La Fig. 2 resume los resultados obtenidos de la concentración de hierro, plomo, cobre y zinc para las muestras de sedimentos costeros en estos cuatro ecosistemas costarricenses. En esa figura se han integrado la dispersión de los datos para cada ecosistema y los límites de confianza al nivel del 95%. En el Cuadro 2 se presentan los ámbitos de la concentración de cada elemento en cada ecosistema, su promedio y desviación estándar. Los valores promedio de las concentraciones de los elementos en los sedimentos de todos los ecosistemas siguieron una misma tendencia: Fe > Zn > Cu > Pb. Alrededor de las tres cuartas partes de los datos individuales de las muestras analizadas, presentaron esa misma tendencia de distribución por concentración

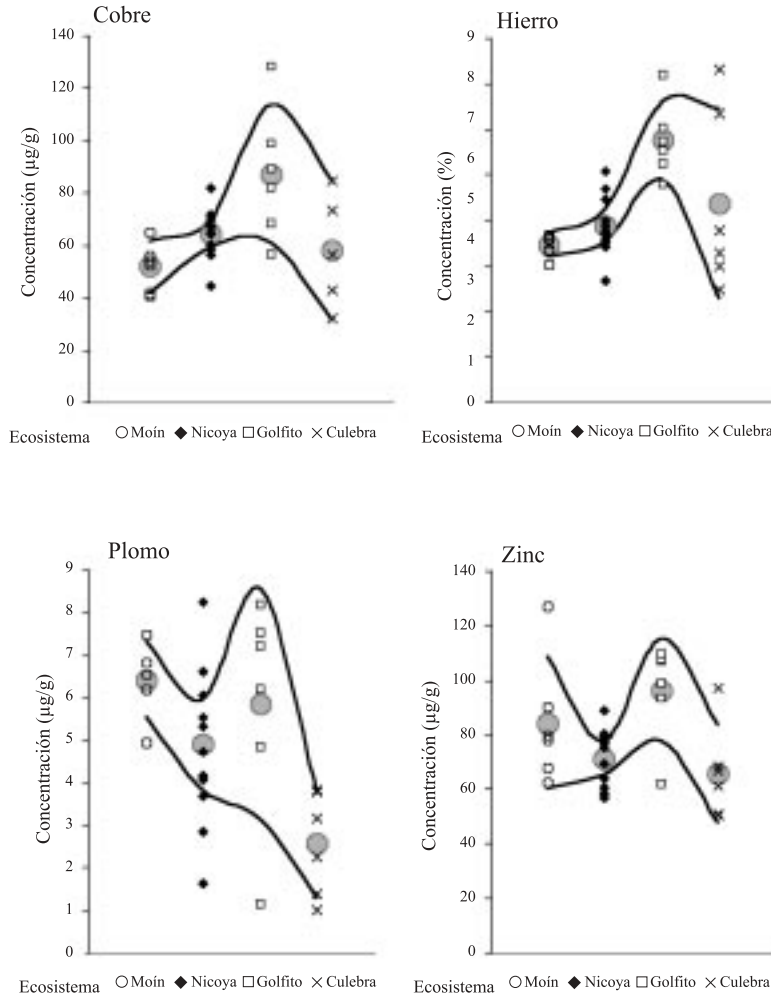


Fig. 2. Concentración de metales en sedimentos costeros en cuatro ecosistemas de Costa Rica, obtenidos durante los años 2000 y 2002. Los puntos representan a las muestras, los círculos al promedio y las líneas punteadas a los límites de confianza. Todos los resultados en µg / g de masa seca, excepto para el hierro que están en porcentaje (%) de masa seca.

que los promedios. En las muestras restantes (23%) se encontró que el cobre fue más abundante que el zinc.

Ecosistemas costeros: Al segregar los datos del Caribe de los correspondientes al Océano Pacífico, se encontró que las concentraciones promedio difirieron de manera significativa ($p < 0.05$) para el hierro, el cobre y el plomo en ambas costas, pero no así para el zinc. La bahía de Moín presentó promedios máximos de

plomo y mínimos de hierro y de cobre. En el caso de los mínimos en Fe y en Cu, la diferencia fue significativa ($p < 0.05$) con respecto al máximo obtenido en los sedimentos de Golfo. La concentración promedio del zinc alcanzó el valor más alto en Golfo y difirió significativamente ($p < 0.05$) de las más bajas: Golfo de Nicoya y Bahía Culebra, pero no así de Moín, que quedó en segunda posición. Debido a la dispersión de los datos, el promedio

CUADRO 2

Ámbitos de concentración y promedios \pm desviación estándar, de metales traza en muestras de sedimentos de cuatro ecosistemas costeros de Costa Rica, obtenidas durante el período de 2000 a 2002

Sitio	Caribe (MC)	Nicoya (PM)	Dulce (GD)	Papagayo (BC)
Metal:				
Cu ($\mu\text{g/g}$)	40,4 - 65,0 52 ± 9	44,5 - 81,7 64 ± 9	56,6 - 128,2 87 ± 25	32,3 - 84,7 58 ± 21
Fe (%)	3,03 - 3,67 $3,4 \pm 0,2$	2,67 - 5,07 $3,9 \pm 0,6$	4,79 - 7,19 $5,8 \pm 0,8$	2,48 - 7,33 4 ± 2
Pb ($\mu\text{g/g}$)	4,9 - 7,5 $6,4 \pm 0,8$	1,6 - 8,2 5 ± 2	1,1 - 8,2 6 ± 3	1,0 - 3,8 3 ± 1
Zn ($\mu\text{g/g}$)	62,3 - 127,0 84 ± 23	56,9 - 89,3 71 ± 10	61,9 - 109,4 96 ± 18	50,3 - 96,9 66 ± 17

de plomo en los sedimentos de Golfito no difirió significativamente ($p < 0.05$) del máximo de la serie, Moín. Golfito presentó máximos de concentración promedio en tres elementos: hierro, cobre y zinc. Los valores de la concentración promedio de hierro y de cobre para Golfito, difirieron significativamente ($p < 0.05$) de los demás ecosistemas y en el caso del plomo también difirieron de los otros ecosistemas con excepción del Caribe. El plomo se encontró en concentraciones relativamente bajas en los sedimentos de Bahía Culebra y su concentración promedio difirió en forma significativa ($p < 0.05$) con respecto a los demás ecosistemas. Asimismo, la concentración promedio de plomo presentó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el Golfo de Nicoya y Moín, pero no entre Golfito y el Golfo de Nicoya, debido a la alta dispersión de los datos en el ecosistema del sur (Golfito). Los datos con un coeficiente de variación mayor correspondieron a la Bahía Culebra (CV: Pb = 47%; Fe = 45%; Cu = 37% y Zn = 26%); esta alta dispersión enmascaró las diferencias con los otros ecosistemas, y contribuyó a que el análisis estadístico por medio de un ANDEVA por parejas (Miller & Miller 1993), entre Bahía Culebra y los demás ecosistemas, no revelara diferencias significativas.

DISCUSIÓN

La distribución de la concentración de contaminantes depende de una gran variedad de factores. Las muestras de sedimento para este trabajo fueron tomadas tanto en diferentes lugares de las costas de Costa Rica, como en fechas distintas (Cuadro 1), siendo esta la primera vez que se describe la presencia de Fe, Zn, Cu y Pb en los sedimentos de Bahía Culebra y de Golfito. Al correlacionar los valores de la concentración de los metales analizados con las fechas de su recolección, no se detectaron patrones temporales de distribución en ninguno de los cuatro ecosistemas costeros elegidos. Los patrones de distribución por abundancia relativa, en los cuales el hierro ocupó el primer lugar y el plomo el último, fueron similares a los recopilados por Páez-Osuna (1996) al considerar las tasas de movilización de metales por intemperismo geológico natural de la corteza terrestre y por las actividades mineras en el mundo.

Hierro: Las diferencias entre la concentración promedio de hierro en los sedimentos de Golfito y las de los demás ecosistemas fueron significativas, puesto que en estos últimos resultaron menores entre un 26% y un 41%. Al realizar una comparación entre los valores

obtenidos para el hierro con los datos informados por Dean *et al.* (1986) en el período 1981-1982 para el Golfo de Nicoya y también con los de Guzmán & Jiménez (1992) para el Caribe de Costa Rica, se observó un aumento de un orden de magnitud para la concentración promedio de hierro en los sedimentos de todos los ecosistemas de este trabajo. En el contexto mundial, los resultados en cambio fueron del mismo orden de magnitud que los encontrados en sedimentos del Golfo de Fonseca, El Salvador (Barraza & Carballeira-Ocaña 1998), de la ría de Vigo, España (Rubio *et al.* 2001), de la costa sur de Kenia (Everaarts & Nieuwenhuize 1995), de la costa meridional de Florida, Estados Unidos (Cantillo *et al.* 1999) y de la zona entre mareas de la Antártica (Alaim & Sadiq 1993). La concentración de hierro en sedimentos de más de 1200 m de profundidad de la costa pacífica de Baja California, México (Nava-López & Huerta-Díaz 2001) fue dos órdenes de magnitud menor que los resultados de este trabajo. En las lagunas costeras del Golfo de México, Villanueva & Páez-Osuna (1996) determinaron concentraciones medias de hierro superiores al 30%, alcanzando incluso un valor medio de 52.36% en la Laguna de las Ilusiones, considerada como un ecosistema muy alterado por las actividades humanas.

Zinc: El análisis de la varianza mostró que los datos de las concentraciones promedio de zinc en los sedimentos difirieron significativamente entre sí, pero las diferencias no fueron tan marcadas como en los casos de los otros elementos. Esto se debió a que el zinc fue el elemento que mostró la menor dispersión de los datos, con CV desde el 15% para el Golfo de Nicoya, hasta el 27% para Bahía Culebra y Moín. La diferencia entre los promedios de Bahía Culebra y el Golfo de Nicoya fue poco menos de la mitad de las diferencias entre las otras parejas consecutivas (Golfo de Nicoya – Moín y Moín – Golfito). Fuller *et al.* (1990) encontraron un promedio de zinc comparable a los datos obtenidos en este trabajo en sedimentos de la desembocadura del río Tárcoles, frente al Golfo de Nicoya. Los resultados fueron similares a los informados por Dean *et al.*

(1986) en el Golfo de Nicoya y a los de Guzmán & Jiménez (1992) en sedimentos de la costa caribeña costarricense. Fueron también semejantes a las concentraciones de zinc en sedimentos de la desembocadura del río Loira en Francia (Amiard *et al.* 1987), del Golfo de Saros, en el Mar Egeo (Sari & Cagatay 2001), de El Salvador (Barraza & Carballeira-Ocaña 1998), y de la Florida, EE.UU. (Cantillo *et al.* 1999). En otros lugares del mundo se han reportado concentraciones promedio de zinc superiores a las de este trabajo: dos veces mayor en dos puertos de Bermuda (Burns *et al.* 1990); tres veces mayor en el estuario del río Blackwater, en Inglaterra (Emmerson *et al.* 1997), en España (Rubio *et al.* 2001) y en sedimentos de la Antártica (Alaim & Sadiq 1993) y cinco veces mayor en la costa de Kenia (Everaarts & Nieuwenhuize 1995). En la Laguna de las Ilusiones, Villanueva & Páez-Osuna (1996) determinaron una concentración media de zinc muy alta, de 227.10 $\mu\text{g} / \text{g}$.

Cobre: Se presentaron diferencias significativas entre las concentraciones promedio de cobre en los sedimentos de los ecosistemas, sobre todo entre Golfito y cada uno de los otros tres. La diferencia entre los pares consecutivos fue tres veces mayor para Golfito – Golfo de Nicoya, que para Golfo de Nicoya – Bahía Culebra y Bahía Culebra – Moín. La dispersión de los datos fue más alta para Bahía Culebra (CV = 37%) y Golfito (CV = 29%) y más baja para los otros ambientes. Durante décadas se usó el cobre como plaguicida en las fincas de las compañías bananeras aledañas a la bahía de Golfito (Spongberg & Davis 1998). En un caso particular, una muestra de Bahía Culebra presentó un resultado de 287.8 $\mu\text{g} / \text{g}$. Este valor, anormalmente alto, fue excluido de los cálculos, luego de aplicar la prueba robusta con un nivel de confianza del 99%. Es más probable que fuese un caso puntual que la regla general. Los resultados obtenidos mostraron un aumento de un orden de magnitud en la concentración promedio de cobre, al compararlos con los datos obtenidos por Dean *et al.* (1986) y por Guzmán & Jiménez (1992). En el estuario del Loira, Amiard *et al.* (1987) reportaron

datos de cobre de un orden de magnitud inferior a los de este trabajo. Sin embargo, los resultados fueron similares a los sedimentos de El Salvador (Barraza & Carballeira-Ocaña 1998), Florida (Cantillo *et al.* 1999), Antártica (Alaim & Sadiq 1993) e Inglaterra (Emmerson *et al.* 1997). Fan *et al.* (2002) encontraron concentraciones de cobre de un orden de magnitud mayor a los de este trabajo, para sedimentos de la bahía de Jinzhou, en China, que es considerada como una bahía altamente contaminada. En sedimentos de varias lagunas costeras del Golfo de México, incluyendo aquellos sitios considerados como contaminados (Villanueva & Páez-Osuna 1996), se determinaron concentraciones de cobre inferiores a los 50 $\mu\text{g} / \text{g}$, mientras que en el presente estudio todas las concentraciones promedio fueron superiores a ese valor. Este hecho podría constituir una situación normal para estos ambientes.

Plomo: Las concentraciones promedio de plomo en los sedimentos de los cuatro ecosistemas también difirieron significativamente entre sí. En contraste con los otros metales, fue el valor más bajo (3 $\mu\text{g} / \text{g}$ en Bahía Culebra, Cuadro 2) el que más discrepó de los restantes, con un nivel del 95% de confianza en todos los casos. La diferencia entre las concentraciones promedio en los ecosistemas Bahía Culebra – Golfo de Nicoya fue casi dos veces mayor que la diferencia entre la pareja Golfo de Nicoya – Golfito, y tres veces mayor que la diferencia entre Golfito – Moín. No hubo diferencia significativa entre Golfito (5.8 $\mu\text{g} / \text{g}$) y el valor máximo (ocurrido en Moín, 6.4 $\mu\text{g} / \text{g}$), y aunque el promedio más alto fue en el Caribe, los valores individuales de mayor magnitud en las concentraciones de plomo ocurrieron en Golfito y en el Golfo de Nicoya. La dispersión de los datos fue superior en todos los ecosistemas costeros del Océano Pacífico (CV = 36% Nicoya, 44% Golfito, 47% Bahía Culebra) y relativamente baja en Moín (CV = 13%). Coincidentemente, durante muchos años se usó en Costa Rica el tetraetilo de plomo como antidetonante de la gasolina y Moín ha sido el sitio de recepción y trasiego de combustibles. Estos resultados fueron ligeramente mayores a

los obtenidos por Dean *et al.* (1986) en el Golfo de Nicoya, pero estuvieron un orden de magnitud por debajo de los informados para sedimentos de la desembocadura del Tárcoles por Fuller *et al.* (1990) y del Caribe por Guzmán & Jiménez (1992). Los resultados de las concentraciones promedio de plomo permanecieron muy por debajo de los de las zonas del mundo consideradas contaminadas, tales como la Laguna de las Ilusiones, en Tabasco, México, donde se informó un promedio de 158.69 $\mu\text{g} \text{Pb} / \text{g}$ (Villanueva & Páez-Osuna 1996), y la bahía de Jinzhou, en China (Fan *et al.* 2002), donde se han reportado valores de tres órdenes de magnitud superiores a los de este trabajo. Sin embargo, sí se comparan con regiones similares en desarrollo, como el Golfo de Fonseca (Barraza & Carballeira-Ocaña, 1998). En el estero del Loira se han informado concentraciones de plomo de un orden de magnitud mayor (Amiard *et al.* 1987), al igual que en la Florida (Cantillo *et al.* 1999) y Bermuda (Burns *et al.* 1990). A su vez, se han determinado concentraciones dos órdenes de magnitud mayores en Kenia (Everaarts & Nieuwenhuize 1995), en Inglaterra (Emmerson *et al.* 1997) y en España (Rubio *et al.* 2001).

Ecosistemas costeros: Tomando en cuenta que las características del entorno de cada ecosistema contribuyen, en forma definitiva, a establecer los niveles de concentración de los metales traza en los sedimentos, se puede concluir, en función de las concentraciones determinadas en este trabajo, que de los cuatro ecosistemas aquí considerados la Bahía Culebra debe representar al sitio relativamente menos contaminado. En este contexto, puesto que la bahía de Golfito tiene los valores más altos del presente estudio, constituiría la región más contaminada, seguida de Moín y del Golfo de Nicoya. Los ambientes con mayor dispersión para la mayoría de los elementos fueron las bahías semicerradas, Bahía Culebra y la bahía de Golfito. Bahía Culebra presentó los valores más bajos de plomo y esta observación coincidió con el bajo desarrollo industrial de la zona. El ámbito en que se han presentado las concentraciones de hierro en este trabajo, aparentemente

refleja valores de intemperización usuales (Páez-Osuna 1996), y aunque las concentraciones de zinc y de cobre también podrían representar el efecto de factores naturales para Bahía Culebra, es importante llevar a cabo un monitoreo en los riachuelos que desaguan en sus costas, así como un muestreo más amplio, espacial y temporalmente, en cada uno de los ecosistemas, para confirmarlo.

AGRADECIMIENTOS

Andrea Pérez, Eddy Gómez, Eleazar Ruiz, Carmen Durán, Davis Morera, Prof. Juan Bautista Chavarría. Personal del laboratorio del Centro de Investigación en Contaminación Ambiental, CICA, de la Universidad de Costa Rica. Personal del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología, CIMAR, de la Universidad de Costa Rica. Este trabajo fue posible debido al apoyo de la Universidad de Costa Rica (Vicerrectoría de Investigación, Escuela de Química), por medio del proyecto del CIMAR 808-A0-506: Contaminación Costera en Costa Rica (CoCosRi), financiado por la Fundación Costa Rica - Estados Unidos de América (CR-USA) para la Cooperación.

RESUMEN

Se determinó la concentración de hierro, plomo, cobre y zinc, en sedimentos de cuatro ecosistemas costeros de Costa Rica, por espectroscopia de absorción atómica, con llama o con horno de grafito. En el Pacífico se escogieron Bahía Culebra (Golfo de Papagayo), el Golfo de Nicoya y la bahía de Golfito (Golfo Dulce) y en el Caribe la bahía de Moín. Las muestras fueron recolectadas entre los años 2000 y 2002, y los valores promedio de las concentraciones de los elementos, en todos los ecosistemas, siguieron una misma tendencia: Fe > Zn > Cu > Pb. No se encontró ningún tipo de patrón temporal de distribución de los metales en ninguno de los ecosistemas. Las concentraciones medias de hierro y de cobre fueron mayores en la bahía de Golfito (5.8% y 87 µg / g, respectivamente) y menores en la bahía de Moín (3.4% y 52 µg / g, respectivamente). La concentración media de zinc fue mayor también en la bahía de Golfito (96 µg / g), pero menor en Bahía Culebra (66 µg / g). La concentración de plomo fue mayor en la bahía de Moín (6.4 µg / g) y menor en

Bahía Culebra (3.0 µg / g). La concentración de plomo fue alta en el Caribe y en la bahía de Golfito; los valores de concentración promedio obtenidos para el hierro, el plomo, el cobre y el zinc, fueron máximos en la bahía de Golfito, comparados con los otros ecosistemas. Con base en los datos obtenidos, se concluyó que la Bahía Culebra fue la zona más limpia; la bahía de Golfito la más contaminada y en un lugar intermedio la bahía de Moín y el Golfo de Nicoya.

REFERENCIAS

- Acuña, J. A. 1993. Contaminación por petróleo en la costa Caribe de Costa Rica. *In*: El manejo de ambientes y recursos costeros de América Latina y el Caribe. Publicación del Departamento de Asuntos Científicos y Tecnológicos de la Organización de los Estados Americanos. Washington D. C. Octubre 1993. Volumen 2:153-161.
- Acuña, J. A., V. García & J. Mondragón. 1998. Comparación de algunos aspectos fisicoquímicos y calidad sanitaria del Estero de Puntarenas. *Rev. Biol. Trop.* 46. Suppl.6:1-10.
- Alaim, I. A. & M. Sadiq. 1993. Metal concentrations in Antarctic sediment samples collected during the Trans-Antarctica 1990 Expedition. *Mar. Poll. Bull.* 26 (9): 523-527.
- Amiard, J. C., C. Amiar-Triquet, B. Berthet & C. Metayer. 1987. Comparative study of the patterns of bioaccumulation of essential (Cu, Zn) and non-essential (Cd, Pb) trace metals in various estuarine and coastal organisms. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 106: 73-89.
- Barraza, J. E. & A. Carballeira-Ocaña. 1998. Una nota corta sobre los metales pesados de la Bahía de La Unión, Golfo de Fonseca, El Salvador. Publicación ocasional del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador. No. 1 – Noviembre. 8 p.
- Botello, A. V., G. Ponce-Vélez, A. Toledo, G. Díaz-González & S. Villanueva. 1996. Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México, p 25-44. *In* A. V. Botello, J. L. Rojas-Galaviz, J. A. Benitez, D. Zárate-Lomelí (Eds). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico, y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. *EPOMEX* Serie científica, 5. 666 p.
- Burns, K. A., M. G. Ehrhardt, J. MacPherson, J. A. Tierney, G. Kananen & D. Connelly. 1990. Organic and trace metal contaminants in sediments, seawater and organisms from two Bermudan harbors. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 138:9-34.
- Cantillo, A. Y., G. G. Lauenstein, T. P. O'Connor & W. E. Johnson. 1999. Status and trends of contaminant

- levels in biota and sediments of South Florida. National Status and Trends Program. National Oceanic and Atmospheric Administration, Regional Reports Series 2. 40 p.
- Clark, R. B. 2001. Marine pollution. 5th edition. Oxford. New York, 230 pp.
- Conder, J. M. & R. P. Lanno. 2003. Lethal critical body residues as measures of Cd, Pb, and Zn bioavailability and toxicity in the earthworm *Eisenia fetida*. *J. Soils & Seds.* 3 :13-20.
- Dean, H. K.; D. Maurer; J. A. Vargas & C. H. Tinsman. 1986. Trace metal concentrations in sediment and invertebrates from the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Mar. Poll. Bull.* 17 (3):128-131.
- Emmerson, R. H. C., S. B. O'Reilly-Wiese, C. L. Macleod & J. N. Lester. 1997. A multivariate assessment of metal distribution in inter-tidal sediments of the Blackwater Estuary, UK. *Mar. Poll. Bull.* 34 (11): 960-968.
- Everaarts, J. M. & J. Nieuwenhuize. 1995. Heavy metals in surface sediment and epibenthic macroinvertebrates from the coastal zone and continental slope of Kenya. *Mar. Poll. Bull.* 31 (4-12) 281-289.
- Fan, W., W. Wang, J. Chen, X. Li & Y. Yen. 2002. Cu, Ni, and Pb speciation in surface sediments from a contaminated bay of northern China. *Mar. Poll. Bull.* 44: 827-832.
- Fuller, C. C., J. A. Davis, D. J. Cain, P. P. J. Lamothe, T. L. Fries, G. Fernandez, J. A. Vargas & M. M. Muriillo. 1990. Distribution and transport of sediment-bound metal contaminants in the Rio Grande de Tárcoles, Costa Rica (Central America). *Wat. Res.* 24 (7): 805-812.
- Gutiérrez-Galindo, E. A., J. A. Villaescusa-Celaya & A. Arreola-Chimal. 1999. Bioacumulación de metales en mejillones de cuatro sitios selectos de la región costera de Baja California. *Cienc. Mar.* 25(4):557-578.
- Guzmán, H. M. & C. E. Jiménez. 1992. Contamination of coral reefs by heavy metals along the Caribbean coast of Central America (Costa Rica and Panama). *Mar. Poll. Bull.* 24 (11): 554-561.
- Jiménez, C. E. 2001. Seawater temperature measured at the surface and at two depths (7 and 12 m) in one coral reef at Culebra Bay, Gulf of Papagayo, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 49. Suppl. 2: 153-161.
- Lizano, O. G. 1998. Dinámica de las aguas en la parte interna del golfo de Nicoya ante altas descargas del río Tempisque. *Rev. Biol. Trop.* 46. (6): 11-20.
- Madureira, M.-J., C. Vale & N. Fonseca. 2003. Distribución de metales traza en sedimentos de zonas de lodo de la plataforma costera norte de Portugal. *Cienc. Mar.* 29(4):435-445.
- Miller, J. C. & J. N. Miller. 1993. Estadística para Química Analítica. 2ª Ed. Addison Wesley Iberoamericana, Argentina.
- Nava-López, C. & M. A. Huerta-Díaz. 2001. Grado de pirritización de metales traza en sedimentos de la costa del Pacífico de Baja California, México. *Ciencias Marinas* 27(2): 289-309.
- Páez-Osuna, F. 1996. Fuentes de metales en la zona costera marina, p. 297-308. *In:* A. V. Botello, J. L. Rojas-Galaviz, J. A. Benitez, D. Zárate-Lomelí (Eds). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico, y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. *EPOMEX* Serie científica, 5. 666 p.
- Prego, R., A. Cobelo-García, C. Tubío & M. del C. Barciela. 2003. Presencia, distribución y niveles de contaminación de plomo en sedimentos superficiales de la Ría de Ferrol (NO de España). *Cienc. Mar.* 29(4):561-571.
- Rubio, B., M. A. Nombela & F. Vilas. 2001. Una evaluación crítica del análisis cluster para identificar sedimentos contaminados en la ría de Vigo (NW España). *Ciencias Marinas* 27(2): 175-208.
- Sari, E. & M. N. Cagatay. 2001. Distributions of heavy metals in the surface sediments of the Gulf of Saros, NE Aegean Sea. *Environment International*, 26: 169-173.
- Spongberg, A. L. & P. Davis. 1998. Organochlorinated pesticide contaminants in Golfo Dulce, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46. Supl. 6:111-124.
- Villanueva, F. S. & F. Páez-Osuna. 1996. Niveles de metales en el Golfo de México: agua, sedimentos y organismos, p. 309-347. *In* A. V. Botello, J. L. Rojas-Galaviz, J. A. Benitez, D. Zárate-Lomelí (Eds.). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico, y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. *EPOMEX* Serie científica, 5. 666 p.
- von Wangelin, M. & M. Wolff. 1996. Comparative biomass spectra and species composition of the zooplankton communities in Golfo Dulce and Golfo de Nicoya, Pacific coast of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44 Suppl. 3: 135-155.
- Wolff, M., H. Hartmann & V. Koch. 1996. A pilot trophic model for Golfo Dulce, a fjord-like tropical embayment, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 44 Suppl. 3: 215-231.