

METALES PESADOS EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL GOLFO DE CARIACO, VENEZUELA.

GREGORIO MARTÍNEZ

*Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
gmartine@sucre.udo.edu.ve*

RESUMEN: Se determinaron los metales pesados Cd, Zn, Cu, Cr, Ni y Pb para establecer los niveles de línea base y de contaminación en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, afectado por el desarrollo industrial y urbano. Las muestras de sedimentos analizadas corresponden a 21 estaciones establecidas a lo largo de las costas Norte y Sur y un transecto central del Golfo. Los sedimentos pulverizados fueron digestados de acuerdo al método de CARMODY *et al.* (1973) y digestión adicional con H₂O₂ y la cuantificación de los metales por Espectrometría de Absorción Atómica, utilizando un equipo Perkin Elmer modelo 3110. Las concentraciones de metales pesados en los sedimentos del área de estudio oscilaron: Cd (0,00-6,21 mg/g), Zn (2,01-222,42 mg/g), Cu (0,63-67,01 mg/g), Cr (2,51-97,15 mg/g), Ni (2,01-49,87 mg/g) y Pb (0,00-37,08 mg/g), siendo la distribución de estos metales trazas irregular, reflejando un incremento de la concentración hacia la parte central del Golfo. De igual manera, los sedimentos de la costa Norte del Golfo de Cariaco presentan concentraciones de estos metales superiores a las obtenidas para la costa Sur, con excepción del Pb. Esto puede ser consecuencia del patrón de circulación que impera en el Golfo, el efecto de la surgencia la cual es más intensa hacia parte central de la costa norte del Golfo y a la composición litológica de los sedimentos. Por otra parte, se observa una fuerte influencia antropogénica que afecta las concentraciones de Pb y demás metales contenidos en los sedimentos superficiales de dicha región.

Palabras clave: Metales pesados, Golfo de Cariaco, contaminación.

ABSTRACT: The heavy metals Cd, Zn, Cu, Cr, Ni and Pb were determined to establish baseline levels and contamination in surface sediments of the Gulf of Cariaco, affected by industrial and urban development. Analyzed samples sediment correspond to 21 stations established along the North and South coasts and a central transect of the Gulf. The powdered sediments were digested according to the method from CARMODY *et al.* (1973) and additional digestion with H₂O₂ and the quantification of the metals by Atomic Absorption Spectrometry, using a Perkin Elmer model 3110. The concentration of heavy metals in the sediments ranged from: Cd (0.00-6.21 µg/g), Zn (2.01-222.42 µg/g), Cu (0.63-67.01 µg/g), Cr (2.51-97.15 µg/g), Ni (2.01-49.87 µg/g) and Pb (0.00-37.08 µg/g), the distribution of these trace metals was irregular, reflecting an increment of the concentration towards the central part of the Gulf. In a same way, the sediments of the North coast of the Gulf of Cariaco present higher concentrations to those obtained for the South coast, except for Pb. This can be a consequence of the circulation pattern that reigns in the Gulf, upwelling which is more intense toward the central part of the north coast of the Gulf and to the litological composition of the sediments. On the other hand, a strong anthropogenetic influence is observed that affects Pb concentrations and other metals contained in the surface sediments of this region.

Key words: Heavy metals, Gulf of Cariaco, contamination.

INTRODUCCION

Los océanos y mares son el depósito final de la mayoría de las sustancias desechadas por el hombre. Con el tiempo la actividad biológica favorece la descomposición de los compuestos orgánicos a dióxido de carbono y agua como producto final. Sin embargo, las especies inorgánicas, especialmente los metales, son continuamente acumulados en el medio marino, excepto una porción menor que pueden ser ingeridos por los organismos marinos. Muchos acontecimientos catastróficos para la salud de los humanos han ocurrido

en el pasado, por ejemplo, el envenenamiento por mercurio en Japón. El deseo por evitar estos desafortunados incidentes ha aumentado el interés por el monitoreo de los metales pesados en el medio marino con la finalidad de conocer sus concentraciones. La mejor forma para asegurar la mínima ocurrencia de tales sucesos es entender el comportamiento físico, químico y biológico de los metales en sistemas marinos y utilizar este conocimiento para proponer programas de investigación cuando se presenten problemas de contaminación por metales pesados.

En el Golfo de Cariaco, los contaminantes llegan al mar a través de los efluentes industriales y domésticos, las aguas de ecorrientías y arroyos que se producen en los períodos de lluvia, el Río Cariaco, el Aliviadero del Manzanares, el Río Manzanares, otros riachuelos de menor importancia y el tráfico marítimo de diferentes tipos de embarcaciones. El Río Manzanares aporta anualmente al mar un promedio de 558×10^6 toneladas de agua que se reparte entre su desembocadura y la zona del aliviadero, descargando gran parte de este volumen entre los meses de Junio a Octubre (MÁRQUEZ *et al.*, 2000; MARTÍNEZ & SENIOR, 2001; MARTÍNEZ *et al.*, 2001).

Con el incremento del tráfico marítimo y de la velocidad de flujo de descarga de los contaminantes al medio marino, se podría producir alteraciones en las condiciones naturales de los diferentes ecosistemas que conforman el Golfo, que pueden estar causando una disminución sensible en los recursos pesqueros, afectando las principales fuentes de producción y alimentación del Estado Sucre. Por esta razón, en el presente trabajo se pretende evaluar y conocer los niveles de algunos metales en sedimentos superficiales de las márgenes litorales del Golfo de Cariaco y Río Manzanares, para establecer una línea base, para futuros monitoreos de la contaminación en esta importante región.

AREA DE ESTUDIO

El Golfo de Cariaco se encuentra situado en la región Nororiental de Venezuela, al este de la Fosa de Cariaco entre $10^{\circ} 25' - 10^{\circ} 35'$ latitud N. y $63^{\circ} 13' 40'' - 63^{\circ} 39' 50''$ de longitud W. El mismo tiene aproximadamente 62 Km de longitud en sentido Este-Oeste y un máximo de 15 Km. en su parte más ancha. El Golfo cubre un área de 642 Km^2 , su volumen se estima en $31,5 \times 10^6 \text{ Km}^3$ aproximadamente y está separado de la depresión oriental por un umbral submarino entre 60 y 70 m. de profundidad. Su entrada se encuentra ubicada por el Oeste, con un ancho aproximado de 5,5 Km. y su característica topográfica principal es la presencia de una cuenca anóxica sedimentaria ubicada en la parte sur de la región central, con una profundidad cercana a los 93 m. (OKUDA, 1978).

El área de estudio en el Golfo de Cariaco comprende la costa norte del Golfo en la Península de Araya, desde Playa El Muerto hasta el Río Cariaco; la costa Sur, desde

el Río Cariaco hasta el litoral Cumanés; y un transecto central en sentido Este-oeste (Fig. 1).

METODOLOGIA

Se establecieron 21 estaciones en ambas costas y la región central del Golfo de Cariaco. Los sedimentos costeros se tomaron desde un bote peñero durante los meses de Enero, Abril, Julio y octubre de 1993. Las estaciones de la región central del Golfo (Est. 18-21) se muestrearon durante el mes de Octubre de 1993, a bordo de B/O Guaiquerí II del Instituto Oceanográfico de Venezuela.

La recolección de sedimentos se realizó con una draga Petersen de $0,101 \text{ m}^2$ de área y almacenadas en bolsas de polietileno a bajas temperaturas hasta su procesamiento y análisis. El secado se realizó en una estufa a 80°C hasta peso constante, luego se pulverizaron y homogenizaron mecánicamente en mortero, almacenándose en tubos de ensayos. Se pesó 1,0 g. aproximadamente de muestra para someterlos a digestión con HNO_3 8 M (CARMODY *et al.*, 1973) y H_2O_2 para mineralizar la materia orgánica. El contenido de metales pesados se determinó por Espectrometría de Absorción Atómica, usando un equipo marca Perkin Elmer modelo 3110, con una llama de aire-acetileno y corrector de fondo de deuterio. Los análisis granulométricos se realizaron por tamizado y la fracción fina según el método de la pipeta y la fórmula de Stokes, los cuales fueron descritos por ROA & BERTHOIS (1975) y DYER (1979).

La precisión de los métodos utilizados fue probada mediante el análisis de un patrón de sedimento certificado por la Environmental Resource Associates (cat. # 540, lot # 237). Los valores de la desviación estándar y los coeficientes de variación son muy bajos, y además comparables entre las diferentes determinaciones (tabla I).

RESULTADOS Y DISCUSION

CADMIO

Los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco presentan concentraciones de Cadmio que oscilan entre $0,00-6,21 \mu\text{g/g}$ y un valor promedio de $1,58 \mu\text{g/g}$. No se detectó la presencia de cadmio en los sedimentos de la

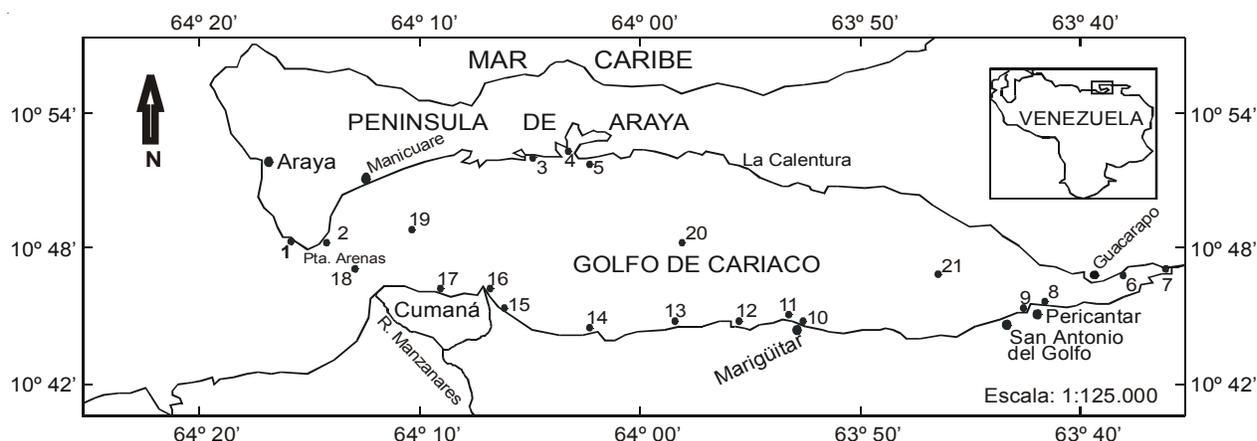


Figura 1. Mapa del Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela, donde se presenta la ubicación de las diferentes estaciones establecidas para el presente estudio.

región de Guaracayal (Est. 13). El valor más alto corresponde a la Estación 21 del transecto central del Golfo (6,21 mg/g) hacia la región más oriental.

En la costa Norte del Golfo, en la Península de Araya, se detectaron valores en un rango entre 0,25-2,42 $\mu\text{g/g}$, con el valor más bajo en Playa El Muerto (Est. 1) el más alto en Laguna Chica (Est. 3). Este valor alto puede ser debido a aportes antropogénico, ya que la región es asentamiento de varias aldeas (La Angoleta, La Balandra, Laguna Chica y varias rancherías de pescadores). Esta zona presenta una alta actividad pesquera y de tráfico de embarcaciones, en su mayoría con motores fuera de borda. También existe un atracadero para el resguardo y mantenimiento de la flota de barco para el transporte de sardinas de una de las empresas conserveras establecida en Cumaná. Todos los desechos, tanto sólidos como líquidos, generados por las actividades desarrolladas por los moradores en esta zona son vertidos a estas aguas. Igualmente, la zona del saco del Golfo (Estaciones 6 y 7) presenta valores altos (2,10 y 2,13 $\mu\text{g/g}$ respectivamente) los cuales pueden ser también, una consecuencia de las actividades humanas desarrolladas en esta zona. La estación 6 se encuentra ubicada frente al desagüe de la industria camaronera «Aquacam» y la estación 7 frente a la desembocadura del Río Cariaco. En la región de Cariaco existe una gran actividad agrícola (cultivo de maíz, caña de azúcar, frutas, etc.), lo que supone la utilización de una elevada cantidad de pesticidas, herbicidas y abonos. El cadmio puede estar asociado a plásticos, pigmentos de pinturas y otros materiales

diversos. Estos valores pueden estar también asociados al alto contenido de limo y arcillas en el sedimento de esta zona. Por otra parte, aunque no se ha determinado aun, los sedimentos en esta región deben presentar un moderado contenido de materia orgánica. BONILLA & LIN (1979) encontraron altos valores de materia orgánica en los sedimentos de Golfo de Cariaco.

En la Región Sur del Golfo, desde la costa aledaña a la Ciudad de Cumaná hasta el Río Cariaco, el rango de concentración varió desde la no-detección de cadmio en Guaracayal (Est. 12) hasta un máximo de 3,28 $\mu\text{g/g}$ frente al Varadero de Carrizales (Est. 13), con una media de 1,2 $\mu\text{g/g}$ (Tabla II). El alto valor de Cd puede estar relacionado con las actividades que se desarrollan en este tipo de empresas ya que pueden ser una fuente de aporte de cadmio hacia el medio marino próximo a esta industria.

Según estudios realizados en todo el mundo acerca de los niveles de cadmio en los diferentes tipos de sedimentos, se considera que la concentración de cadmio en sedimentos superficiales no contaminados no supera el valor de 1 $\mu\text{g/g}$ (SADIQ, 1992). En el Golfo de Cariaco, se detectaron en algunos puntos niveles superiores a este valor (Tabla II): en el sitio de descarga de la industria «Alimentos Margarita» en Marigüitar (Est. 10; 1,41 $\mu\text{g/g}$), En la Ensenada de Turpialito (Est. 14; 2,42 $\mu\text{g/g}$) y en el sector de costa donde se encuentra la empresa «CAIP» (Est. 16; 1,87 $\mu\text{g/g}$). Los efluentes de las industrias procesadoras de productos de origen marino

Tabla I. Precisión y confiabilidad del método utilizado para las determinaciones de metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, a partir de una muestra sedimento patrón de Environmental Resource Associates (cat. # 540, lot # 237).

Muestra	Concentración ($\mu\text{g/g}$)					
	Cd	Ni	Cu	Cr	Pb	Zn
Replica 1	53,38	59,95	115,52	84,51	84,87	87,18
Replica 2	53,45	59,40	115,40	84,43	86,25	87,10
Replica 3	53,40	62,09	117,42	85,26	85,10	87,07
Replica 4	53,56	60,81	116,71	85,11	84,28	87,10
Replica 5	53,44	60,15	116,28	84,31	84,99	87,12
Promedio	53,45	60,48	116,26	84,72	85,10	87,11
Desv. Est.	0,0704	1,0316	0,8401	0,4305	0,7185	0,0415
Varianza	0,0050	1,0641	0,7057	0,1853	0,5162	0,0017
Valor Certif.	52,40	55,90	108,00	88,20	75,10	87,80
Rango acep.	40,3-64,5	43,7-68,0	88,4-127,0	70,5-106,0	57,2-93,0	67,9-108,0

presentan una alta concentración de materia orgánica (tejidos, escamas, vísceras, sangre, etc.), la cual disminuye la capacidad de depuración del medio marino, alterando sus condiciones naturales. Como es sabido, los niveles de cadmio pueden estar fuertemente asociados con las concentraciones de materia orgánica en los sedimentos (SADIQ, 1992).

En el transecto central del Golfo de Cariaco, se detectaron concentraciones de cadmio entre 1,00-6,21 $\mu\text{g/g}$, con el valor mínimo en la estación 19 y el máximo en la estación 21 y un valor promedio de 3,30 $\mu\text{g/g}$. Estas elevadas concentraciones pueden estar asociadas tanto a las características granulométricas de los sedimentos superficiales como al alto contenido materia orgánica contenida en los mismos (BONILLA & LIN, 1979). Los sedimentos en estas cuatro estaciones se pueden clasificar, de acuerdo a su distribución granulométrica, como de tipo arcilla-limosa (estaciones 18 y 20) y limo-arcilloso-arenoso (estaciones 19 y 21) (tabla II).

Los valores promedios de las concentraciones de Cd en las costas del Golfo son inferiores a los valores de 2,39 $\mu\text{g/g}$ para el área de Bergantín (IOV, 1991) y 2,81 mg/g para el área de Jose (IOV, 1992), en las costas del Estado Anzoátegui, las cuales se encuentran mucho más impactadas que las costas del Golfo de Cariaco, debido a un mayor desarrollo industrial (industria petrolera y

petroquímica, cemento, metalmecánica, automotriz, etc.) y turístico. El transecto central del Golfo, presenta un valor promedio de Cd (3,30 $\mu\text{g/g}$) superior a estos valores. A pesar que los valores promedio de Cd en los sedimentos superficiales son inferiores a los que presentan las costas del Estado Anzoátegui, existe un intervalo de valores entre 2,00 a 6,21 $\mu\text{g/g}$ que son motivo de preocupación y que ameritan intensificar sus estudios para conocer las fuentes antropogénicas.

CINC

El cinc presentó para el área de estudio un rango de concentración entre 2,01-222,42 $\mu\text{g/g}$ y una media de 57,66 $\mu\text{g/g}$. Al igual que el cadmio, el mínimo valor corresponde a la región Guaracayal (Est. 12) y el máximo a la estación 21 ubicada en el transecto central del Golfo de Cariaco.

En la costa norte (Península de Araya) se detectaron concentraciones de cinc en un rango entre 3,90-104,77 $\mu\text{g/g}$, con el valor menor para el sedimento superficial recolectado en Punta Arenas (Est. 2), el mayor frente a la empresa camaronera «Aquacam» (Est. 6) y una media en 50,82 $\mu\text{g/g}$. La zona de Playa el Muerto (Est. 1) al igual que Punta Arenas presenta baja concentración de cinc que puede estar asociado a las características granulométricas del sedimento de esta zona el cual esta compuesto principalmente por arena con un bajo contenido de limo-arcilla. Por otra parte, en la Ensenada Grande del Obispo (Est. 4), al norte de la misma y frente a la desembocadura del Río Cariaco (Est. 7), se determinaron concentraciones superiores a 50 $\mu\text{g/g}$, las cuales pueden asociarse con las finura de las partículas y/o al contenido de materia orgánica en los sedimento superficiales de estas zonas (BONILLA & LIN, 1979). CHESTER & MESSIHA-HANNA (1979) señalan que el cinc presente en sedimentos costeros tiene un origen litogénico al igual que el hierro y el manganeso.

Para la costa sur del Golfo de Cariaco, el rango de concentración es de 2,01-116,64 $\mu\text{g/g}$ (Tabla II), con el valor más bajo en la región de Guaracayal (Est. 12) y el más elevado en el área del Aliviadero del Manzanares en el Sector el Peñón (Est. 16). Valores bajos de cinc (< 20,00 $\mu\text{g/g}$) fueron igualmente detectados a 200 m. aproximadamente al oeste de la Bomba de Pericantar (Est. 9; 16,06 $\mu\text{g/g}$), a 500 m. al oeste del tubo de descarga de los efluentes de la Industria «Alimentos Margarita»

Tabla II. Característica textural (%) y concentración ($\mu\text{g/g}$) de metales pesados en sedimentos superficiales del golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela.

Región	Estación	Grava (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Cd	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb
Costa Norte	1	0,90	97,00	1,05	1,05	0,25	6,77	1,72	7,96	4,12	5,88
	2	6,10	92,10	0,90	0,90	0,96	3,90	2,96	8,95	7,00	12,83
	3	0,50	88,00	6,35	5,65	2,42	19,05	6,93	24,05	15,43	26,25
	4	0,00	73,50	9,60	16,90	1,28	96,85	48,30	54,25	42,12	18,71
	5	2,00	90,90	3,35	3,75	1,66	60,73	28,04	80,88	41,02	21,29
	6	0,00	22,50	26,00	51,50	2,10	104,77	26,55	40,46	31,63	25,06
	7	0,00	60,30	11,10	28,60	2,13	63,64	11,46	41,66	18,31	15,92
	Mín	0,00	22,50	0,90	0,90	0,25	3,90	1,72	7,96	4,12	2,88
	Máx.	6,10	97,00	26,00	51,50	2,42	104,77	48,30	80,88	42,12	26,25
Promedio	1,36	74,90	8,34	15,48	1,54	50,82	17,99	36,89	22,80	17,99	
Costa Sur	8	0,00	57,70	13,30	29,00	0,52	57,30	11,20	29,95	15,61	37,08
	9	1,70	65,10	10,00	22,80	0,99	16,02	3,70	19,56	7,91	8,20
	10	0,20	98,00	0,70	0,70	1,41	36,35	3,80	15,74	7,68	10,55
	11	0,00	96,80	1,60	1,60	0,40	8,79	1,12	10,39	2,09	4,46
	12					0,00	2,01	0,63	2,51	2,01	0,00
	13	2,60	95,20	1,10	1,10	3,28	16,32	7,42	11,68	10,21	30,04
	14	0,00	93,30	3,15	3,15	2,42	8,45	2,46	15,63	11,55	24,81
	15	0,00	100,00	0,00	0,00	0,17	9,85	1,29	11,91	5,03	5,38
	16	0,00	19,30	51,60	29,10	1,87	116,64	10,66	24,69	24,82	11,81
	17	0,00	68,00	12,80	19,20	0,94	74,81	8,55	19,17	15,98	10,24
	Mín	0,00	19,30	0,00	0,00	0,00	2,01	0,63	2,51	2,01	0,00
	Máx.	2,60	100,00	51,60	29,10	3,28	116,64	11,20	29,95	24,82	37,08
	Promedio	0,50	77,04	10,47	11,85	1,20	34,65	5,49	16,12	10,29	14,26
Transecto Central	18	0,00	1,20	26,20	72,60	2,00	98,43	6,72	54,47	17,17	31,34
	19	0,00	7,10	77,60	15,30	1,00	152,26	5,98	74,77	20,44	30,16
	20	0,00	1,10	31,30	67,60	3,99	134,88	22,19	78,28	49,87	27,17
	21	0,00	8,80	77,10	14,10	6,21	222,42	22,11	97,15	49,19	31,56
	Mín	0,00	1,10	26,20	14,10	1,00	59,43	5,98	54,47	17,17	27,17
	Máx.	0,00	8,80	77,60	72,60	6,21	222,42	22,19	97,15	49,87	31,56
	Promedio	0,00	4,55	53,05	42,40	3,30	142,25	14,25	76,17	34,17	30,06

(Est. 11; 8,79 $\mu\text{g/g}$), Varadero Carrizales (Est. 13; 16,32 $\mu\text{g/g}$), Turpialito (Est. 14; 8,45 $\mu\text{g/g}$) y frente al Varadero Marino en el Peñón (Est. 15; 9,85 $\mu\text{g/g}$). Estas regiones presentan sedimentos de tipo arenoso los cuales

contienen, regularmente, bajos contenidos de materia orgánica (BONILLA & LIN, 1979) y bajos niveles de metales trazas. Por otra parte, las zonas con concentraciones de cinc superiores a 20 $\mu\text{g/g}$ se

presentan en sedimentos con una alta proporción de partículas finas, los cuales tienden a acumular metales pesados. En el caso del área del Aliviadero del río Manzanares, los sedimentos se caracterizan por tener una alta proporción de limo-arcilla (80,70 %) y relativo contenido de materia orgánica, debido a la franja litoral de mangle en esta zona y como consecuencia de la descarga del Aliviadero. Existen evidencias acerca de que en esta zona se encontraba el antiguo delta del río Manzanares (CARABALLO, 1982 A). Podemos observar como la Est. 17 (al este del muelle de la empresa CAIP) el sedimento presenta un 32,00 % de limo y arcilla y contiene cuatro veces el contenido de cinc de la Est. 9 en la cual prevalece un sedimento con 33,20 % de estas dos fracciones. Esto puede ser debido a los volúmenes de materia orgánica vertido por la empresa CAIP en esta región. Los sedimentos en esta zona presentan restos de escamas, grasa y tejidos de pescado en diferentes etapas de descomposición, huesos, etc.

En la entrada (Est. 18) y el transecto central del Golfo, se detectaron concentraciones de cinc entre un rango de 59,43-222,42 $\mu\text{g/g}$ (Tabla II), con el valor más bajo en la Est. 18 y el más alto en la Est. 21. Al igual que para el Cd, estas altas concentraciones pueden estar asociadas tanto a las características granulométricas del sedimento como al contenido de materia orgánica que prevalece en estos sedimentos. En este caso el Zn muestra una asociación muy significativa con las fracciones finas de los sedimentos del Golfo de Cariaco ($r = 0,897$ para los limos y $r = 0,506$ para las arcillas).

De acuerdo a estudios realizados en la región nororiental de Venezuela, específicamente, en la Cuenca Tuy-Cariaco (GAMBOA & BONILLA, 1983) y Costa del Estado Anzoátegui (GAMBOA *et al.*, 1986; BONILLA 1993 y FERMÍN & BONILLA, 1996) muestran una dependencia entre los niveles de algunos metales pesados en sedimentos y sus características granulométricas, así como en su contenido en materia orgánica. CAMPBELL & LORING (1980) y PERKINS *et al.* (1973) reportaron un incremento en las concentraciones de metales pesados asociados con la fracción de grano fino, mientras que JACKSON (1979) encontró que el Fe, Zn, Cd y Cu están fuertemente relacionados con el carbono orgánico. Igualmente, se señala en estos trabajos la influencia antropogénica en las concentraciones de estos metales como consecuencia del vertidos, en las regiones estudiadas por dichos autores, de los efluentes

industriales y urbanos de las ciudades, poblados y complejos industriales allí establecidos.

COBRE

En la costa norte se detectaron concentraciones de 1,72-48,30 $\mu\text{g/g}$, con la menor concentración en Playa el Muerto (Est. 1) y la más alta en región oriental de la Ensenada Grande del Obispo (Est. 4) y una media de 17,99 $\mu\text{g/g}$, muy superior al valor de 10 $\mu\text{g/g}$ establecido para sedimentos no contaminados (Tabla III). Este valor alto (48,30 $\mu\text{g/g}$ de Cu), parecer tener un origen más residual que no residual, lo que indica que el cobre en este caso forma parte de la estructura reticular de los componentes minerales de los sedimentos. Los no residuales, son aquellos metales que se han ido incorporando a los sedimentos de soluciones acuosas, por medio de diferentes procesos, tales como adsorción, complejación química e intercambio iónico (CHESTER & VOUTSINOU, 1981). Tomando en cuenta esta aseveración, se hace difícil explicar el valor alto de Cu y de los demás metales hallados en esta zona del Golfo, ya que sería necesario conocer previamente el aporte litogénico para el área de estudio. Al este de la entrada a la Ensenada Grande del obispo (Est. 5), se detectó una relativa menor concentración de cobre (28,04 $\mu\text{g/g}$), debido posiblemente al aporte antropogénico por un mayor intercambio de las aguas y al efecto de dirección de la circulación predominante en esta zona, lo cual hace que se acumule menor proporción de partículas finas en el sedimento. En el caso de la región del saco del Golfo, específicamente frente a la Camaronera «Aquacam» (Est. 5), el contenido de cobre (26,55 $\mu\text{g/g}$) puede ser de origen tanto litogénico como antropogénico, debido a una mayor actividad agrícola e industrial en la región de Cariaco. Estos tres valores superan abiertamente el límite de 10 $\mu\text{g/g}$ de cobre para sedimentos no contaminados (Tabla III).

En la costa sur del Golfo de Cariaco, los niveles de cobre se encuentran entre un rango de 0,63 en Guaracayal (Est. 12) y 11,20 $\mu\text{g/g}$ frente a la Estación de Servicios de Pericantar (Est. 8), con un promedio de 5,49 $\mu\text{g/g}$ inferior al valor de 10,00 $\mu\text{g/g}$ de Cu para sedimentos no contaminados. Otro valor que supera los 10 $\mu\text{g/g}$ se determinó en la zona del Aliviadero del Río Manzanares. En el resto de esta región, a pesar de ser la más impactada por las actividades antrópicas, los niveles de cobre se encuentran por debajo de 10 $\mu\text{g/g}$,

quizás debido a la presencia de sedimentos con un alto contenido de arena (Tabla II), los cuales retienen menos metales pesados. Grandes concentraciones de Cu y otros metales pesados son introducidos por las aguas del río Manzanares hacia el golfo de Cariaco y litoral marino costero frente a la ciudad de Cumaná durante los meses de lluvia. MARTÍNEZ & SENIOR (2001) detectaron 51,0 µg/g de Cu, 7,9 µg/g de Cd, 510,0 µg/g de Zn y 72,8 µg/g de Cr en el material en suspensión de las aguas superficiales del río Manzanares durante el mes de septiembre de 1996, los cuales se acumulan en los sedimentos superficiales de la región estudiada. Estos niveles de metales afectan la biota, especialmente a los moluscos los cuales son consumidos por los habitantes de la región con el respectivo riesgo para su salud.

Por otra parte, en el transecto central del Golfo de Cariaco, se encontraron concentraciones de cobre fluctuando entre un rango de 5,98-22,19 µg/g y una media de 14,25 µg/g. Para las Estaciones 18 y 19 de este transecto, las concentraciones de cobre son menores (6,72 y 5,98 µg/g respectivamente) que para las Ests. 20 y 21 hacia la parte central y oriental (22,19 y 22,11 µg/g respectivamente). Estos valores altos hacia la segunda mitad del Golfo pueden ser una consecuencia de la surgencia costera, la cual puede ser mayor hacia esta zona, con la consecuente incorporación de un alto volumen de materia orgánica en los sedimentos de esta parte del

Golfo. Este afloramiento de agua subsuperficial ocurre con mucha intensidad durante los meses de noviembre a marzo, cuando se presentan los vientos alisios del noreste (OKUDA *et al.*, 1978, ASTOR *et al.*, 1998; WALSH *et al.*, 1999; THUNELL *et al.*, 2000). La existencia de una circulación ciclónica en la parte central del Golfo, arrastra a todos las partículas y sustancias presentes en el agua de mar hacia esta zona (GADE, 1961a y b) durante la estación seca.

Los valores promedios de Cu para la costa norte (17,99 µg/g) y transecto central (14,25 µg/g) son superiores y comparables a los reportados por GAMBOA *et al.* (1986) para la Bahía de Pertigalete (8,37 µg/g); Bahía de Guanta (16,46 µg/g); Bahía de Bergantín (13,33 µg/g); Bahía de Barcelona (13,15 µg/g) y Bahía de Pozuelos (9,25 µg/g), y son inferiores al contenido de Cu (20,00 µg/g) del área de Jose (Tabla III) reportados en IOV (1992). Estos valores de Cu altos en la costa Norte y transecto central deben motivar el establecimiento de un programa para conocer mejor su hidrodinámica y la contaminación por metales pesados en toda el área del Golfo de Cariaco.

CROMO

El Cromo presenta para el Golfo de Cariaco un rango de concentración entre 2,51 µg/g en Guaracayal (Est. 12) y 97,15 µg/g en la Estación 21, al este del Golfo en el transecto central y un valor promedio en 32,15 µg/g, superior al valor de 20 mg/g para sedimentos no contaminados (Tabla III).

En la costa norte se obtuvieron concentraciones de Cr que oscilan entre 7,96 en Playa el Muerto y 80,88 µg/g al este de la entrada de la Ensenada Grande del Obispo, con un promedio de Cr para esta zona de 36,89 µg/g (Tabla II), el cual se encuentra por encima del valor de 20 mg/g para sedimentos no contaminados. La Estación 2 en Punta Arena presenta una concentración de Cr de 8,95 µg/g, el cual esta muy por debajo de la concentración para sedimento no contaminados cuyo valor es de 20 µg/g. Las demás estaciones en la costa norte presentaron concentraciones de este metal muy superiores al valor de 20 µg/g, los cuales puede ser de origen antropogénico o estar asociados a los sedimentos de textura fina. Un valor sobresaliente se encuentra al este de la entrada de la Ensenada Grande del Obispo (80,88 µg/g de Cr), un sedimento arenoso el cual debe

Tabla III. Metales pesados en sedimentos superficiales en algunas regiones de America y en el Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela.

REGION	CONCENTRACION (µg/g)					
	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
No Contaminada ¹	1,00	10,00	20,00	10,00	5,00	—
Bahía de Pertigalete ²		8,36	21,65	20,42		118,12
Bahía de Guanta ²		16,46		25,07		120,29
Bahía de Pozuelos ²		9,25		11,68		90,05
Bahía de Barcelona ²		13,15		13,07		108,21
Bahía de Bergantín ²		13,33		45,60		292,72
Bahía de Bergantín ³	2,39	11,96	25,17	27,44	21,86	92,83
Area de Jose ⁴	0,88	14,34	57,49		11,50	
Area de Jose ⁵	2,81	20,00	37,96	30,54	9,67	
Laguna Las Marites ⁶		11,85				34,01
Laguna de Píritu ⁷		5,68		32,75		91,31
Bahía de Levisa ⁸		13,00		1694,00	7,40	55,00
Bahía de la Habana ⁹		97-276		32-102	42-301	142-995
Costa de Baja California ¹⁰	0,13	2,60	11,90			7,25
Esta Investigación	1,71	11,13	34,48	19,01	18,51	60,53

1. SADIQ, 1992; 2. FERGUSSON, 1990; 3. GAMBOA *et al.*, 1986; 4. IOV, 1992; 5. IOV, 1991; 6. SALAZAR *et al.*, 1986; 7. GONZÁLEZ, 1987; 8. GONZÁLEZ & RAMÍREZ, 1995; 9. GONZÁLEZ, 1991; 10. GUTIERREZ-GALINDO *et al.*, 1994.

contener bajas concentraciones de metales pesados. Por otra parte, esta zona está alejada de los centros poblados e industriales de la región. La razón para esta concentración alta, puede estar en efecto del flujo inducido por circulación prevaleciente hacia la costa Norte que transporta Cr de origen antrópico, a igual que el sedimento en esta área presente en su constitución mineralógica Cromo de origen litogénico.

Para la costa sur, el rango de concentración de Cr se encuentra entre 2,51-29,95 $\mu\text{g/g}$, con el valor menor correspondiendo a Guaracayal (Est. 12) y el mayor para la Estación de Servicio Pericantar (Est. 8). El promedio de Cr para esta zona es de 16,12 $\mu\text{g/g}$, el cual es inferior a la concentración de 20,00 para sedimentos no contaminados. Este valor alto, puede ser asociado al contenido de fino en el sedimento y a la descarga de los efluentes de la Bomba de Gasolina y lavado de camiones en la Estación de Servicio Pericantar. Otro valor que sobrepasa el límite de 20 $\mu\text{g/g}$ de Cr se encuentra en el Aliviadero del Manzanares en la Región de Punta Baja en el Peñón (Est. 16, 24,69 $\mu\text{g/g}$) y se puede asociar a la textura del sedimento con 80,70 % de limo-arcilla (Tabla II).

El contenido de Cromo en los sedimentos del transecto central del Golfo de Cariaco se encontró en el rango entre 54,47 $\mu\text{g/g}$ (Est.18) y 97,15 $\mu\text{g/g}$ (Est. 21) y un promedio de 76,17 $\mu\text{g/g}$. Se aprecia que las concentraciones en esta región superan el límite de 20 $\mu\text{g/g}$ establecido para sedimentos no contaminados (Tabla II). Estas concentraciones pueden estar asociadas a la textura del sedimento con alto contenido de partículas finas y a las elevadas concentraciones de materia orgánica que contienen estos sedimentos (BONILLA & LIN, 1979), así como a aportes antropogénicos.

El promedio de Cr para esta región (76,17 $\mu\text{g/g}$) es superior al contenido de Cr en la Bahía de Bergantín con 25,17 $\mu\text{g/g}$ (IOV, 1991) y el área de Jose con 57,49 $\mu\text{g/g}$ (IOV,1990) y 37,96 $\mu\text{g/g}$ (IOV, 1992), y comparables a las concentraciones reportadas para sedimentos contaminados de la costa del Estado de Veracruz (México) con una concentración promedio de 75,00 $\mu\text{g/g}$ de Cr (BOTELLO *et al.*, 1992); Bahía de la Habana con fluctuaciones entre 50,10 a 343,00 $\mu\text{g/g}$ de Cr (GONZALEZ *et al.*, 1985) y Bahía de Cárdenas con valores entre 34,80 y 49,80 $\mu\text{g/g}$ (ARENCIBIA *et al.*, 1992).

NIQUEL

En los sedimentos superficiales de la costa norte del Golfo, las concentraciones de níquel oscilaron entre 4,12 $\mu\text{g/g}$ en playa El Muerto (Est. 1) y 42,12 $\mu\text{g/g}$ en la parte oriental de la Ensenada Grande del Obispo (Est. 4), con un valor promedio de 22,80 $\mu\text{g/g}$, muy superior al valor de 10 $\mu\text{g/g}$ para sedimentos no contaminados (SADIQ, 1992). Valores igualmente altos, fueron obtenidos en los sedimentos superficiales de las estaciones ubicadas en esta margen costera con excepción de Playa el Muerto (Est. 1) y Punta Arenas (Est. 2). Este incremento, por otra parte, se debe a que los metales pesados pueden estar formando parte de la constitución de los minerales presente en la zona y son transportado a estos ecosistemas por las ecorrientias formadas en la época de lluvia y por los vientos que soplan en la región durante todo el año.

Los sedimentos superficiales del litoral de la costa sur del Golfo de Cariaco, presenta un intervalo de fluctuaciones en las concentraciones de níquel de 2,01 $\mu\text{g/g}$ a 24,82 $\mu\text{g/g}$, con el valor mínimo en Guaracayal (Est. 12), el máximo en el sector de la desembocadura del Aliviadero de Manzanares en Punta Baja (Est. 16) y una media de 10,29 $\mu\text{g/g}$ un poco superior al valor reportado para sedimentos no contaminados (Tabla III). Según la Tabla II, las Estaciones 8, 13, 14, 16 y 17, presentan concentraciones superiores a 10 $\mu\text{g/g}$, los cuales pueden estar relacionados a la textura del sedimento de partículas finas que constituyen el sedimento en estas zonas, los cuales pueden acumular grandes cantidades de níquel y otros metales pesados. Estos metales forman parte de la materia orgánica igualmente acumulada en este tipo de sedimento (BONILLA & LIN, 1979) y pueden liberarse cuando esta se degrada, o estar adsorbidos en dichas partículas o ser parte de los óxidos de hierro y manganeso que se producen en el agua de mar y que precipitan para formar parte de los sedimentos superficiales.

Los sedimentos superficiales que caracterizan al perfil central del Golfo, presentaron valores de níquel que oscilaron entre 17,17 $\mu\text{g/g}$ en la entrada del Golfo (Est. 18) y 49,87 $\mu\text{g/g}$ en la parte central del mismo (Est. 20), con una media de 34,17 $\mu\text{g/g}$ muy superior al valor de 10 $\mu\text{g/g}$ para sedimentos no contaminados.

Las concentraciones promedio de Ni para la costa

sur del Golfo de Cariaco y río Manzanares (10,29 y 11,16 $\mu\text{g/g}$ respectivamente) son comparables a las reportadas por GAMBOA *et al.* (1986) para la Bahía de Pozuelos (11,68 $\mu\text{g/g}$) y Bahía de Barcelona (13,08 $\mu\text{g/g}$) e inferiores a las reportada por estos mismos autores para la Bahía de Bergantín (45,60 $\mu\text{g/g}$) y Bahía de Guanta (23,87 $\mu\text{g/g}$), Laguna de Píritu con 32,75 $\mu\text{g/g}$ (GONZÁLEZ, 1987), Bahía de Jose con 30,54 $\mu\text{g/g}$ (IOV, 1992), con contenido promedio de Ni superior para la costa Norte y transecto central del Golfo con concentraciones de 22,80 y 34,17 $\mu\text{g/g}$ respectivamente.

PLOMO

En la costa norte del golfo (Tabla II), la concentración de Plomo en los sedimentos superficiales se encontró entre un 5,88 $\mu\text{g/g}$ en playa El Muerto (Est. 1) y 26,25 $\mu\text{g/g}$ en Laguna Chica (Est. 3). El valor promedio del plomo para esta margen costera es de 17,99 $\mu\text{g/g}$ muy superior al valor de 5,00 $\mu\text{g/g}$ para sedimentos no contaminados (Tabla III). Igualmente se observa, que los valores de Pb en los sedimentos superficiales de todas las estaciones ubicadas en este litoral costero, se encuentra por encima del valor para sedimentos no contaminados (SADIQ, 1992). Esto refleja una fuerte influencia antropogénica en la acumulación de plomo en este ecosistema marino. En este caso, las fuentes principales de Pb a este medio marino son debidas a un importante tráfico de embarcaciones, mayormente con motores fuera de borda, que navegan por el Golfo, y se deposita y acumula en los sedimentos superficiales. De igual manera, los pescadores de la zona utilizan el plomo como las lastre en sus aparejos y redes para pescar, y gran cantidad de estos pedazos van a parar a los sedimentos del fondo.

En los sedimentos superficiales de la costa Norte del Golfo de Cariaco, podemos distinguir tres regiones bien diferenciadas a partir de los valores de Pb y de las concentraciones de los demás metales pesados (Cd, Cu, Cr, Ni y Zn) determinados en este estudio. Estas regiones comprenden: a) la región Oeste, ubicada en la salida del Golfo, caracterizada granulométricamente por sedimentos donde prevalece una textura de grano de arena (> 90 %), con los valores más bajos de metales pesados (Tabla II) y una mayor influencia hidrodinámica. Esta comprende el área de Punta Arenas (Est. 2) que presenta alto valores de los metales pesados, con la excepción de las concentraciones de Fe y Mn de la

zona de playa El Muerto (Est. 1). Esto puede ser debido a que Punta Arenas presenta mayor influencia del drenaje del río Manzanares y de las corrientes que salen del Golfo, las cuales transportan un buen volumen de metales pesados, en forma disuelta y particulada fuera del Golfo. Igualmente, esta zona presenta una mayor circulación de embarcaciones de diferente calado. b) La región central, conformada por las estaciones 3, 4 y 5, ubicadas en la región de la Ensenada Grande del Obispo, donde prevalecen los sedimentos de grano arena entre 73-90 % (Tabla II), de mayor influencia de los eventos de surgencia y del sistema de corrientes del Golfo de Cariaco que acarrea el drenaje antropogénico desde el litoral costero sur, obteniéndose los más bajos valores de metales trazas (Zn, Cu, Cr, Fe, Mn y Ni) en la Est. 3, excepto las concentraciones de Cd (2,42 $\mu\text{g/g}$) y Pb (26,25 $\mu\text{g/g}$) que son las mayores. Los más altos valores de metales trazas de esta región se encontraron en la Est. 4, con la excepción de Cd y Pb, siendo la Est. 5 el de mayor contenido de Cr, C. La región más oriental del Golfo de Cariaco, representadas por las estaciones 6 y 7, está caracterizada por sedimentos de textura arcilla-limosa-arenosa (Est. 6) y arena-arcillosa (Est. 7) obteniéndose las mayores concentraciones de metales pesados en la Est. 6 con excepción de Cd y Cr. En general, se encontraron los valores más altos de metales pesados en los sedimentos del área de Ensenada Grande del Obispo a excepción del Cd, Zn y Fe cuyos valores más altos se hallaron en el área del litoral costero más oriental del Golfo, mientras que las concentraciones más bajas de los metales pesados se determinaron para la entrada del Golfo de Cariaco.

En los sedimentos superficiales de la costa Sur del Golfo, el plomo presenta valores desde no detectado (0,00 $\mu\text{g/g}$) en Guaracayal (Est. 12) hasta 37,08 $\mu\text{g/g}$ a nivel de la Estación de Servicio Pericantar (Est. 8), con una media en 14,26 $\mu\text{g/g}$ muy superior al valor establecido de 5 $\mu\text{g/g}$ para sedimentos no contaminados. De las 10 estaciones ubicadas en esta margen costera, solamente las áreas con valores de Pb inferiores a 5 $\mu\text{g/g}$ son Guaracayal (Est. 13) y a 500 metros de la salida del tubo de descarga de los efluentes de la empresa «Alimentos Margarita» en Marigüitar (Est. 11). Para el resto de las estaciones se observan valores de Pb superiores al valor para sedimentos no contaminados. En la zona a nivel de la Estación de Servicio Pericantar (Est. 8) existe una fuerte influencia de carácter exógeno, debido al lavado de camiones tanques que transportan

gasolina y gasoil, vertido de gasolina, gasoil y aceites lubricantes, desechos domésticos, de aerosoles provenientes del tráfico automotor que transitan por la carretera Cumaná-Carúpano, que liberan gran cantidad de Pb y demás metales pesados que se depositan y acumulan en los sedimentos superficiales de estos ecosistemas marinos. Otra zona que presenta un alto contenido de Pb (30,04 µg/g) es la región frente al varadero marino de Carrizales (Est. 13), como consecuencia de las actividades de construcción y mantenimiento de embarcaciones desarrolladas por esta empresa.

Por otra parte, el valor promedio de Pb en los sedimentos superficiales de la costa Sur (14,26 µg/g) es menor que el promedio en la costa Norte (17,99 µg/g), a pesar de que la costa norte se encuentra menos densamente poblada, sin ninguna actividad industrial y una vialidad poco importante, siendo esto debido a la hidrodinámica propia del Golfo de Cariaco que hace que el flujo de contaminantes penetra por el litoral costero sur, sea llevado hacia el centro y costa Norte. Otra explicación para esta situación está en la circulación ciclónica que identificó Gade (1961 A y B) en el Golfo de Cariaco, la cual puede estar llevando los contaminantes hacia el norte y parte central del mismo, depositándose en los sedimentos. Además, el valor medio de Pb para la costa sur (14,26 µg/g) es comparable con los detectados en el área de la Bahía de Jose en las costas del Estado Anzoátegui con un valor promedio de 12,39 µg/g (IOV, 1990), 9,67 µg/g (IOV, 1992); mientras que el promedio para la costa Norte (17,99 µg/g) es comparable con los valores para la Bahía de Bergantín con 28,83 y 21,86 µg/g (IOV, 1990 y 1992).

En el caso de los sedimentos superficiales del transecto central del golfo, los valores de Pb oscilan entre 27,17 µg/g (Est. 20) y 31,56 µg/g (Est. 21) con un contenido promedio de 30,06 µg/g, muy superior al valor de 5 µg/g para sedimentos no contaminados. En esta región, los valores los valores más altos se encuentran en la entrada y parte oriental del transecto central y pueden ser debido a la influencia de los ríos Manzanares y Cariaco. Por otra parte, existe un aporte antropogénico desde el continente y de pueblos y ciudades ribereñas. También, por la parte occidental y oriental del golfo en la Península de Araya, donde se encuentran centros poblados. De igual manera, los sedimentos superficiales de la región central son de tipo

limo-arcilla y arcilla limosa, con alto contenido de materia orgánica (BONILLA & LIN, 1979) los cuales tienden a acumular Pb y otros metales trazas. El valor promedio de Pb (30,06 µg/g) encontrado en esta región está por encima de los valores detectados para el área de Jose (IOV, 1990 y 1992) y comparables a la concentración de Pb para el área de Bahía de Bergantín con 28,83 µg/g (IOV, 1990). Los valores de Pb para el transecto central y el resto del Golfo de Cariaco son muy inferiores a las concentraciones reportadas para sedimentos contaminados de las costas de Barcelona con 440 µg/g (MOGOLLÓN *et al.*, 1989) y los sedimentos de la Bahía de la Habana con 86,00-397,00 µg/g (GONZÁLEZ *et al.*, 1985) y Bahía de Chesapeake (EEUU) con una concentración de 91,00 µg/g de Pb (SINEX *et al.*, 1980).

Los coeficientes de correlación de Pearson la correlación lineal entre las variables granulométricas y los metales determinados en este estudio muestra como los limos se encuentran asociados significativamente con los metales Cd ($r = 0,498$), Zn ($r = 0,897$), Cr ($r = 0,679$) y Ni ($r = 0,528$), con muy poca correlación con el Cu ($r = 0,195$). También se presenta una correlación significativa con pendiente negativa entre la mayoría de los metales y la arena. En el caso de los metales, el Cd se encuentra asociado a los metales Zn ($r = 0,618$), Cr ($r = 0,59$), Ni ($r = 0,65$) y Pb ($r = 0,555$). De igual manera, el Zn se encuentra asociado a todos los metales y el Cu se comporta de manera independiente.

En el análisis estadístico de conglomerados se establecieron diferentes agrupaciones bien definidas entre las fracciones granulométricas y los metales pesados estudiados así como entre estaciones. Para la asociación entre estaciones se utilizó la distancia euclidiana, mientras que para las fracciones granulométricas y los metales pesados se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson como medida de similitud. La Fig. 2. muestra el dendograma de similitud para las estaciones donde se presentan dos grupos de asociaciones. Un grupo que asocia las estaciones con altos contenidos de partículas finas en dos subgrupos, donde se encuentran las estaciones 19 y 21 las cuales poseen 77,60 y 77,10 % de limo respectivamente y el otro subgrupo que asocia a las estaciones 6, 16, 18 y 20 con una alta proporción de arcillas. El otro grupo presenta 4 subgrupos, donde se agrupan las diferentes asociaciones donde predomina la arena como componente principal de dicho

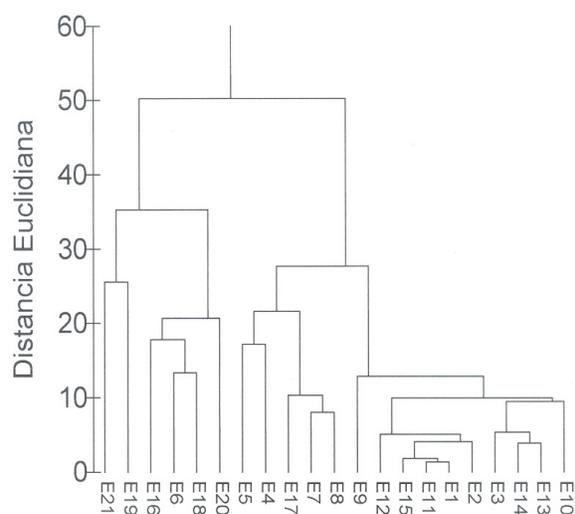


Figura 2. Dendrograma de similitud entre las diferentes estaciones de muestreo de los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela.

sedimento. El dendrograma para la asociación entre las variables granulométricas y los metales pesados, observándose dos grupos bien diferenciados. El primer grupo asocia a la arena con la grava, mientras que el otro se subdivide en dos subgrupos donde uno agrupa a la arcilla con el Cu, Ni y Cr y el otro agrupa al Pb y al Cd con la fracción limosa y el Zn (Fig. 3).

En el caso de los análisis de factores, se observa que las variables estudiadas en función de los componentes

Tabla IV. Componentes principales de las fracciones geoquímicas y los metales pesados para los sedimentos superficiales del golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela.

	COMPONENTES PRINCIPALES						
	1	2	3	4	5	6	7
GRAVA	-0.311	0.706	-0.397	-0.177	0.458	0.038	0.056
ARENA	-0.874	0.402	0.096	0.136	-0.204	0.010	-0.062
LIMO	0.796	-0.305	-0.258	0.381	0.160	0.131	0.121
ARCILLA	0.619	-0.371	0.136	-0.641	0.152	-0.161	-0.029
Cd	0.684	0.313	-0.393	0.080	-0.219	-0.474	0.012
Zn	0.949	-0.114	0.006	0.244	0.071	0.015	0.066
Cu	0.592	0.513	0.580	-0.055	-0.039	0.075	0.187
Cr	0.890	0.225	0.037	0.110	0.095	0.151	-0.329
Ni	0.869	0.375	0.271	0.040	0.003	-0.084	-0.038
Pb	0.643	0.168	-0.415	-0.357	-0.372	0.343	0.044
Varianza Explicada	5.558	1.485	0.990	0.816	0.502	0.422	0.173
% Varianza Explicada	55.577	14.851	9.897	8.157	5.021	4.222	1.734

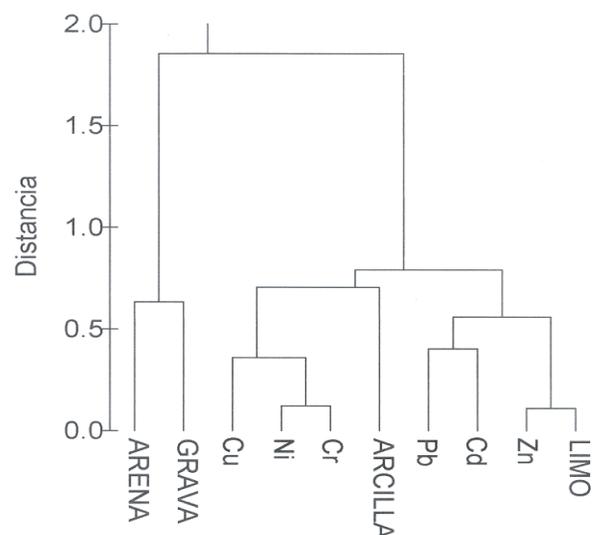


Figura 3. Dendrograma de similitud (distancia: coeficiente de correlación) que muestra la asociación entre las fracciones granulométricas y los metales pesados en sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela

principales, muestran que los primeros tres componentes explican el 80,33 % de la varianza del comportamiento de las diferentes variables geoquímicas de Golfo de Cariaco (Tabla IV). El primer componente (Cp1) es el que tiene la varianza más alta y por lo tanto la mayor capacidad explicatoria de los datos con 55,58 % de la varianza explicada del total de los parámetros estudiados. Dicho componente constituye un contraste entre la arena y la grava (con signo -) con las demás variables de dicho componente, las cuales poseen signo +. El segundo componente (Cp2), constituye una bipolaridad entre las variables granulométricas limo, arcilla y el metal traza Zn con el resto de las variables granulométrica y los metales, con un 14,85 % de la varianza explicada. El tercer componente (Cp3), establece un contraste entre las fracciones grava, limo y los metales Cd y Pb, con el resto de las variables, con un 9,90 % de la varianza explicada. La Fig. 4 es una representación gráfica de las asociaciones entre las variables granulométricas y los metales pesados estudiado para los dos primeros componentes principales. Esta gráfica confirma las asociaciones determinadas en el análisis de conglomerados de la Fig. 3, donde se puede observar agrupaciones bien definidas tales como la arena y la grava muy alejadas de los parámetros restantes, así como una asociación entre la arcilla el limo y el Zn y los demás metales formando un grupo más compacto.

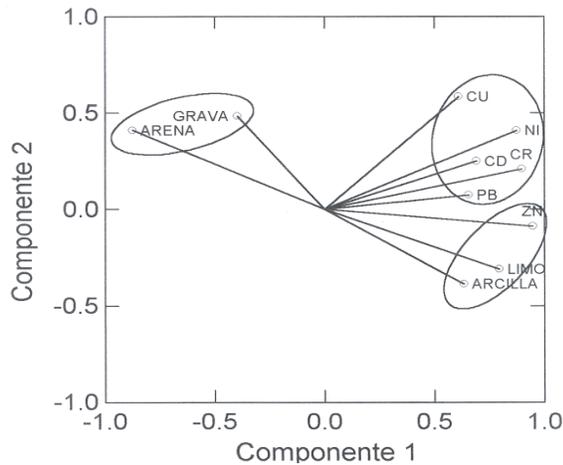


Figura 4. Correlación entre las fracciones granulométricas y los metales pesados para las dos primeras componentes principales.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de Cd, Zn, Cu, Cr, Ni y Pb en los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, están asociadas directamente con la textura del grano sedimentario prevaleciente, encontrándose las mayores concentraciones en los sedimentos más fino.

El contenido de metales pesados en los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, caracteriza zonas con elevados niveles que reflejan la existencia de una contaminación antropogénica. La contaminación causada por metales pesados en el área de estudio decrece en el orden siguiente: Transecto Central > Costa Norte > Costa Sur. Esta distribución puede estar relacionada con la hidrodinámica y las características físico-químicas de las aguas y sedimentos del Golfo de Cariaco.

Los metales pesados en los sedimentos superficiales del Golfo de Cariaco, de acuerdo a su concentración, se presentan en el siguiente orden: Zn > Cr > Ni > Cu > Pb > Cd para la costa Norte en la Península de Araya; Zn > Cr > Pb > Ni > Cu > Cd en la costa Sur y Zn > Cr > Ni > Pb > Cu > Cd, para el transecto central.

AGRADECIMIENTO

Al consejo de Investigación de la Universidad de Oriente por el financiamiento otorgado para la realización de este proyecto, (N°CI-5-019-00538/92-93).

REFERENCIAS

- ARENCIBIA, G., C. CARRODEGUAS & T. ROMERO. 1992. Contaminación por Metales Pesados en los Sedimentos de la Bahía de Cárdenas, Cuba. *Cienc. Mar.*, 18 (1): 167-180.
- ASTOR, Y., MERI J., F. MÜLLER KARGER. 1998. Variabilidad estacional hidrográfica en la Fosa de de Cariaco. *Mem. Soc. Cienc. Nat. La Salle*, 58: 61-72.
- AZEVEDO, H. L., H. R. MONKEN & V. P. MELO. 1988. *Study of Heavy Metal Pollution in the Tributary Rivers de Jacarepagua Lagoon, Rio de Janeiro State, Brazil, Through Sediment Analysis. En: Metals in Coastal Environments of Latin America.* SEELIGER, U., L. D. DE LACERDA & S. R. PATCHNEELAM (Eds.). Springer-Verlag. Berlin: 287 p.
- BONILLA, R. J. 1993. *Características Hidrogeoquímicas: Comportamiento y Significado de Modelos Estadísticos Multivariantes en el Bioecosistema Marino Costero de Jose, Edo. Anzoátegui, Venezuela.* Trabajo de Ascenso Prof. Titular. Inst. Oceanogr. de Venez. Univ. Oriente: 231 p.
- . & A. LIN. 1979. Materia Orgánica en los sedimentos de los Golfos de Paria y Cariaco. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*. 18 (1-2): 37-52.
- BOTELLO, A. V., G. P. VELZ & G. DÍAZ-GONZÁLEZ. 1992. La contaminación en Zonas Costeras del Golfo de México: Un Diagnóstico. *Frente Marít.*, 11, Sec. A: 129-137.
- CAMBELL J. A. & D. H. LORING. 1980. Baseline Levels of Heavy Metals in the Waters and Sediments of Baffin Bay. *Mar. Poll. Bull.* 11 (9): 257-261.
- CARABALLO, L. F. 1982a. El Golfo de Cariaco. Parte I: Morfología y Batimetría Submarina. Estructuras y Tectonismo Reciente. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*. 21 (1-2): 37-65.
- . 1982b. El Golfo de Cariaco. Parte II: Los Sedimentos Superficiales y su Distribución por el Fondo. Fuente de Sedimentos. Análisis

- Mineralógico. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*. 21 (1-2): 37-65.
- CARMODY, D. J., J. B. PEARCE & W. E. YASSO. 1973. Trace Metals in Sediments of New York Bight. *Mar. Poll. Bull.* 4 (9): 132-135.
- CHESTER, R & R. G. MESSIHA-HANNA. 1970. Trace Element Partition Patterns in North Atlantic Deep-Sea Sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 34: 1121-1128.
- . & F. G. VOUTSINOU. 1981. The Initial Assessment of Trace Metals Pollution in Coastal Sediments. *Mar. Poll. Bull.* 12 (3): 84-91.
- DYER, K. 1979. *Estuarine hydrography and sedimentation*. Estuarine and Brackish Water Sciences Association handbook. Cambridge University Press. Cambridge, 230 p.
- FERGUSON, J. E. 1990. *The Heavy Metals Elements Chemistry. Environmental Impact and Health Effects*. 1st. Ed., Pergamon Press, Oxford: 614 p.
- GADE, H. G. 1961a. On Hydrographic Conditions in the Gulf of Cariaco During the Months from May to November 1960. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*. 1 (1): 21-46.
- . 1961b. Further Hydrographic Observations in the Gulf of Cariaco, Venezuela. The Circulations and Water Exchange. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*. 1 (2): 356-395.
- GAMBOA, B. R. & J. R. BONILLA. 1983. Distribución de Metales Pesados (Fe, Mn, Cu y Zn) en Sedimentos Superficiales de la Cuenca Tuy-Cariaco. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*. 22 (1-2): 103-110.
- , J. R. BONILLA & G. CEDEÑO. 1986. Concentración de Algunos Metales Pesados en Sedimentos Superficiales de la Bahía de Pozuelos y Areas Adyacentes, Edo. Anzoátegui, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente*. 25 (1-2): 233-240.
- GONZÁLEZ, H. 1985. *Contaminación de los Sedimentos por Metales Pesados. Cap. 13. Investigación y Control de la Contaminación de la Bahía de la Habana*. Vol. 1, II t.: 201-206.
- . 1991. Heavy metals surveys in sediments of five important Cuban Bays. *Biogeochem.*, 14: 113-128.
- . & M. RAMÍREZ. 1995. The effect of nickel mining and metallurgical activities on the distribution of heavy metals in Levisa Bay, Cuba. *J. Geochem. Explor.*, 52, 185.
- GUTIÉRREZ GALINDO, F., M. FLORES, V. ORTEGA & J. VILLAESCUA. 1994. Metales Pesados en Sedimentos de la Costa Fronteriza Baja California (México)- California (EUA). *Cienc. Mar.*, 20 (1): 105-124.
- IOV. 1990. *Estudio Ambiental del Ecosistema Marino de la Bahía de Bergantín y Area de Jose*. Informe Final. Convenio IOV (UDO)-CORPOVEN. Tomo II: 198 p.
- IOV. 1991. *Caracterización Ambiental del Area de Jose*. Proyecto AFEAM. Convenio IOV (UDO)-CORPOVEN.
- IOV. 1992. *Estudio Ambiental de las Costas del Estado Anzoátegui*. Proyecto EACA-Area de Jose. Informe final. Convenio IOV (UDO)-CORPOVEN.
- JACKSON, T. A. 1979. Sources of Heavy Metals Contamination in a River-Lakes System. *Envir. Pollut.* (18): 131-138.
- MARTÍNEZ, G. & W. SENIOR. 2001. Especiación de metales pesados (Cd, Zn, Cu y Cr) en el material en suspensión de la pluma del río Manzanares, Edo. Sucre, Venezuela. *Interciencia*, 26 (2): 1-10.
- , ALVARADO, J. & W. SENIOR. 2001. Estudio Físico-químico de las aguas superficiales de la cuenca baja y pluma del río Manzanares. *Interciencia*, 26 (8): 342-351.
- MOGOLLÓN, J., A. RAMÍREZ & C. BIFANO. 1989. *Determinación de Niveles de Contaminación en Sedimentos Costeros del Estado Anzoátegui*. VII

- Congreso Geológico Venezolano, Barquisimeto, Edo. Lara, Venezuela: 1121-1230.
- PERKINS, E. J., J. R. S. GILCHRIST, O. J. ABBOT & W. HALCROW. 1973. Trace Metals in Solway Firth Sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 4 (4): 59-61.
- OKUDA, T., J. BENÍTEZ, J. BONILLA & G. CEDEÑO. 1978. Características Hidrográfica del Golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente.* 17 (1-2): 69-88.
- SADIQ, M. 1992. *Toxic Metals in Marine Environments.* Marcel Dekker Inc., New York: 389 p.
- ROA, P. & L. BERTHOID. 1975. Manual de sedimentología. Manual para el estudio de los sedimentos no consolidados. Caracas, 303 p.
- SALAZAR, J., J. BONILLA & B. GAMBOA. 1986. Metales Pesados y Materia Orgánica en los Sedimentos Superficiales de la Laguna de las Marites. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente.* 25 (1-2): 137-154.
- SINEX, S. A., A. CASTILLO & G. R. HELZ. 1980. Accuracy of Acid Extraction Methods for Trace Metals in Sediments. *Anal. Chem.* 52 (14): 2342-2346.
- THUNELL, R., R. VARELA., M. LLANO., J. COLLISTER., F. MÜLLER KARGER., & R. BOHRER. 2000. Organic carbon flux in an anoxic water column: sediment trap results from the Cariaco Basin. *Limnol. Oceanogr.* , 45: 300-308.
- WALSH, J., D. DIETERLED., F. MÜLLER KARGER., R. BOHRER., W. BISSETT., R. APARICIO., R. VARELA., H. HOCHMAN., C. SCHILLER., R. DÍAZ., R. THUNELL., G. TAYLOR., M. SCRANTON., K. FANNING. & E. PELZER. 1999. Simulation of carbon/nitrogen cycling during spring upwelling in the Cariaco Basin. *J. Geophys. Res.* 104 (C4): 7807-7825.

RECIBIDO: 20 de diciembre 2001

ACEPTADO: 10 de marzo 2003