

Composición de sedimentos en las zonas costeras de Costa Rica utilizando Fluorescencia de Rayos-X (FRX)

Alfonso Salazar M.^{1, 4}, Omar G. Lizano^{1, 2, 3, 4} & Eric J. Alfaro^{1, 2, 3, 4}

1 Escuela de Física, Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria,

2 Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR),

3 Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI),

4 Centro de Investigaciones en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM),

Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Fax: (506) 234-2703; asalazar@cariari.ucr.ac.cr,

olizano@cariari.ucr.ac.cr; ejalfaro@cariari.ucr.ac.cr

Recibido 13-XI-2003. Corregido 19-II-2004. Aceptado 25-IV-2004.

Abstract: Using an energy dispersive X-Ray fluorescence analysis, simultaneous evaluation of K, Ca, Ti, Cr, Mn, Ge, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Sr and Pb in 74 marine sediment samples from the Costa Rica intertidal zones was conducted. Samples were collected between June 1999 and December 2001, from Caribbean and Pacific beaches of Costa Rica. Calcium and iron showed the highest abundances and are indicators of the natural origin of the sediments. Calcium is associated with biogenic processes such as coral reefs near the sampling sites and iron indicates a terrigenous origin. In general, the beaches of the Caribbean and North Pacific regions showed the greatest concentration of calcium. This is indicative of the abundant reef structures near these beaches. The beaches of the Central and South Pacific show the greatest iron concentrations, indicating an important lithosphere contribution and/or little contribution of calcium carbonate due to the poor development of coralline structures near the sampling sites. Finally, the analyses did not show evidence of elements associated with anthropogenic pollution. Only a northern section of Puerto Viejo beach showed high concentrations of lead, zinc and titanium, perhaps associated with hydrothermal sources.

Key words: X-ray Fluorescence, trace elements, marine sediment, sediment contamination, Costa Rica.

El ecosistema marino cerca de la costa es un ambiente dinámico con una gran variedad de sedimentos según sus distintos hábitats biológicos, los procesos de erosión y deposición, y los mecanismos de transporte que se dan en una región (Stanley & Swift 1976). Los ríos son la fuente principal de los sedimentos litógenos derivados de rocas y transportados al mar como material sólido. Los sedimentos biógenos están compuestos principalmente de derivados de organismos marinos tanto plantas como animales (Komar 1976). En general, el carácter de los sedimentos oceánicos no se determina solo por la fuente de la que se derivan, sino que hay factores físicos, químicos y biológicos que controlan la naturaleza de estos

depósitos. En la costa, los factores físicos se relacionan con la pendiente, la forma y tamaño de la playa, la velocidad y dirección de las corrientes y la energía de las olas que alcanzan sus bordes. Los agentes transportadores determinan en gran parte el sitio donde se depositan, siendo los ríos y las corrientes marinas las que mueven grandes cantidades de sedimentos.

Muchas actividades afectan estos ambientes costeros, especialmente aquellos que están cerca de áreas urbanas y de regiones agrícolas. Los metales por ejemplo, han entrado al ciclo geoquímico desde eras geohistóricas por fuentes naturales como vulcanismo y clima, y se fijan en los sedimentos. Hoy día, las emisiones antropogénicas pueden ser de mayor intensidad

que las naturales. Al constituirse los sedimentos en una adecuada trampa para los materiales que se lanzan al ambiente, se convierten en un indicador importante para la contaminación ambiental (Ryan & Windom 1988).

La presencia de metales pesados en los sedimentos marinos en las costas, son especialmente relevantes para interpretar la contaminación, que se presenta por la actividad que se realiza en el mar cercano a las costas y por los desechos en los ríos que desembocan en el mismo. En el trabajo de García *et al.* (2004) se analizan algunos metales en muestras de sedimentos del Golfo de Nicoya, Golfo Dulce, Bahía Culebra y Limón.

De acuerdo a los programas nacionales e internacionales de monitoreo, los siguientes elementos, en particular, se requieren para una medición rutinaria de sedimentos: aluminio (Al), hierro (Fe), cromo (Cr), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg), Koopmann *et al.* (1991). Algunos de estos elementos son determinados por espectrometría de Fluorescencia de Rayos-X (FRX) en forma simultánea y con precisión, como corresponde al hierro, níquel, cobre, zinc y plomo. Otros elementos se presentan en concentraciones por debajo de los límites de detección. En la misma muestra es posible determinar también los elementos calcio (Ca), potasio (K), titanio (Ti), manganeso (Mn), bromo (Br), rubidio (Rb), yodo (I), los que pueden ser de interés adicional. La FRX presenta propiedades de análisis relevantes. Una de estas propiedades lo constituye la determinación simultánea de varios elementos entre el cloro ($Z=17$) y el estroncio ($Z=38$) para las líneas más energéticas (K_{α}), así como entre el tungsteno ($Z=74$) y el bismuto ($Z=93$) para las líneas de menor energía (L_{α}). La fácil preparación de las muestras, su poco tratamiento y la facilidad de la irradiación de las mismas, convierten a la FRX en un método atractivo y confiable para la evaluación cuantitativa de elementos presentes en los sedimentos.

En este estudio se determinan por FRX, los elementos metálicos que conforman las muestras de sedimentos en los bordes costeros

de un total de setenta y dos sitios a lo largo de casi todas las costas de Costa Rica, tanto de las zonas costeras del Pacífico como del Caribe. Se establece como objetivo del presente estudio la caracterización del sedimento y la localización de posibles focos de contaminación por medio de la distribución multielemental de metales pesados. El estudio también permite la determinación de relaciones específicas o generales entre los elementos más relevantes. Las concentraciones permiten la identificación de las fuentes y los patrones de distribución de varios elementos, incluyendo algunos metales pesados a lo largo de los bordes costeros. Los resultados buscan establecer una visión amplia de la composición de los sedimentos de las costas del Caribe y del Pacífico de Costa Rica. A partir de este estudio se pueden establecer las guías de calidad de sedimento (SQGs, por sus siglas en inglés), que se relacionan con los intervalos de concentración de contaminantes asociados con presencia o ausencia de efectos biológicos adversos (Riba *et al.* 2003).

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo: Los sedimentos fueron recolectados en muestras de aproximadamente 1 kg en el litoral costero, entre junio de 1999 y diciembre del 2001. La posición fue determinada con un sistema de posicionamiento global (GPS). Las localidades de muestreo se indican en Fig. 1 y las coordenadas se dan en los Cuadros 1, 2, 3 y 4. La muestra es representativa de la playa; sin embargo, de aquellos lugares con cambios distinguibles en el sedimento a lo largo de la playa, se tomaron un número mayor de muestras, por ejemplo en Puerto Viejo (Cuadro 1).

Debido a que la mayoría de los elementos se encuentran fuertemente ligados en granos más finos en los sedimentos, el estudio se realiza en partículas inferiores a 50 μm . Esta condición provee una buena base de comparación en las concentraciones de los elementos en sedimentos de áreas individuales y entre las áreas. Las muestras se llevan a estado seco por

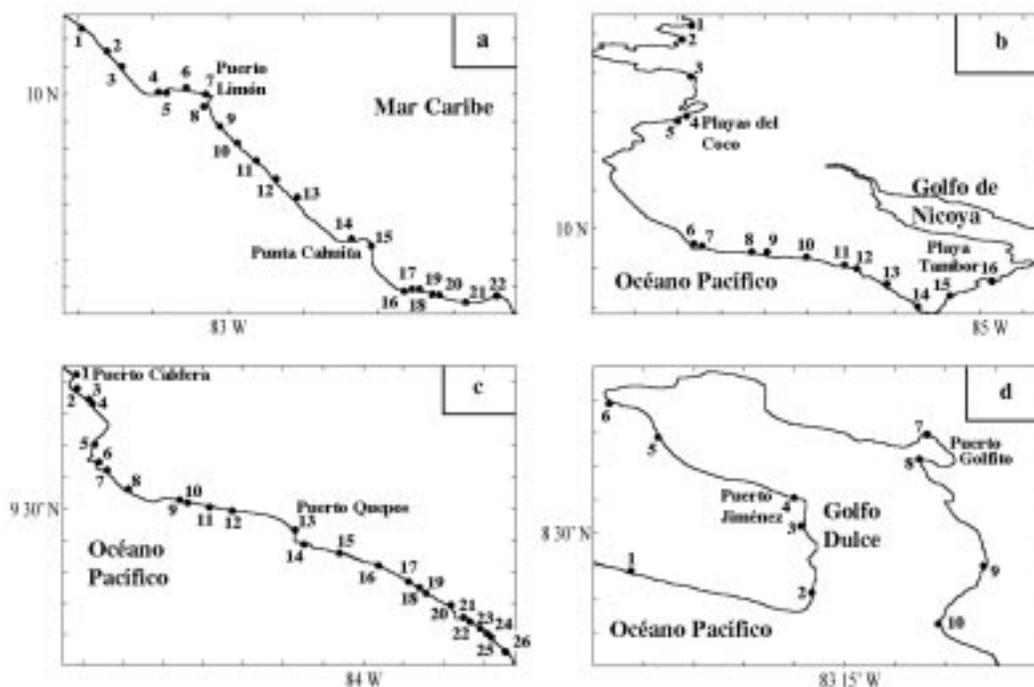


Fig. 1. Distribución de los sitios de recolección de muestras, tanto de la región Caribe (a) como de las tres regiones de las costas del Pacífico de Costa Rica: Norte (b), Central (c), Sur (d).

medio de un horno a temperatura de 80°C. Cada muestra se tamiza en cascada con el fin de eliminar material vegetal y lograr finalmente un polvo en partícula de 50 μm .

Con este polvo se forma una pastilla de 51 mm de diámetro, y su por el área define la densidad de superficie de la muestra en mg/cm^2 , esto permite que la concentración de cada elemento determinado en la muestra se presente en fracción de peso (% , mg/kg o ppm).

Para establecer un mínimo de ajuste estadístico se preparan tres pastillas para cada muestra. Cada pastilla se coloca en un soporte individual con ajuste a una misma distancia ante el sistema de irradiación para garantizar estabilidad geométrica del sistema.

Sistema de irradiación y conteo: El sistema de irradiación y conteo para la Fluorescencia de Rayos-X, consta de un generador de Rayos-X Iso-debyeflex 2002, con un tubo de foco fino de Molibdeno, operando a 40 kV, 30 mA y 1.2 kW. Para obtener un haz de irradiación

con proximidad a una energía monocromática se reduce la radiación de frenado o Bremstrahlung, con blanco secundario de Molibdeno, el cual absorbe la mayor parte de esta radiación. La energía de la radiación del Molibdeno (17.44 keV) genera transiciones de electrones entre los orbitales de un átomo (L y M con K) y la sucesiva emisión de los rayos-x característicos de los elementos en un ámbito de energías entre 3.3 keV del potasio y 14.14 keV del estroncio para las líneas K_{α} y K_{β} , así como para los elementos pesados, incluyendo plomo, en las líneas L_{α} y L_{β} (transiciones electrónicas M,N con L). Para la detección de la radiación característica y de retrodispersión Compton y Raleigh se utiliza un espectrómetro Canberra, equipado con un detector Si(Li) de ventana de berilio, un amplificador y un analizador multicanal Nucleus II de acople interno en la computadora tipo PC.

El espectro de fotopicos asociado a los Rayos-X de emisión y dispersión se obtiene en

CUADRO 1
Concentración en porcentaje (%) o en mg/kg (ppm) de los elementos que conforman los sedimentos marinos de la costa Caribe de Costa Rica

No.*	Sitio	Long W	Lat N	Elementos de mayor concentración en %										Elementos traza en mg/kg (ppm)									
				K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Rb	Sr	Pb							
01	Boca Río Matina	83°12.54'	10°07.02'	1.02	4.41	0.60	0.03	0.13	6.39	42	64	90	2	17	14	9							
02	12 Millas a Matina	83°09.66'	10°04.62'	0.80	2.61	0.35	0.01	0.11	4.93	33	71	80	30	25	15	7							
03	10 Millas a Matina	83°08.46'	10°03.00'	0.61	3.24	0.41	0.01	0.12	5.96	38	65	93	27	23	15	12							
04	Moín	83°05.58'	10°00.18'	1.05	2.83	0.34	0.01	0.09	4.58	25	45	82	27	31	15	13							
05	Puerto Moín	83°04.92'	10°00.12'	0.77	7.22	0.63	0.02	0.10	5.94	34	34	94	27	21	13	11							
06	Bonita	83°03.36'	10°00.66'	0.93	40.26	0.04	0.00	0.07	1.15	12	13	31	27	28	17	17							
07	Limón Centro	83°01.74'	10°00.00'	1.08	41.70	0.05	0.00	0.12	0.94	9	17	63	12	20	11	18							
08	Cieneguita	83°01.92'	09°59.82'	1.00	5.74	0.22	0.01	0.08	3.68	27	46	70	24	27	15	16							
09	Westfalla	83°00.66'	09°56.46'	1.11	5.70	0.26	0.01	0.08	4.07	35	57	72	17	24	15	15							
10	Norte Río Viscaya	82°59.22'	09°54.66'	1.09	5.74	0.37	0.01	0.10	5.53	39	65	94	31	30	16	16							
11	Norte Río Bananito	82°57.72'	09°52.74'	1.26	5.56	0.45	0.01	0.11	5.72	41	62	91	22	32	16	17							
12	Sur Río Estero Negro	82°56.16'	09°50.76'	0.92	1.99	0.23	0.01	0.06	3.05	21	38	51	14	27	9	9							
13	Norte Río La Estrella	82°54.48'	09°48.78'	0.95	4.82	0.64	0.04	0.11	6.12	39	36	68	13	16	11	5							
14	Cabuitta	82°50.10'	09°44.22'	1.20	24.86	0.09	0.00	0.04	1.34	7	19	29	22	34	10	12							
15	Puerto Vargas	82°48.96'	09°43.32'	0.52	10.64	0.92	0.02	0.16	6.91	19	32	77	11	6	20	11							
16	Puerto Viejo Norte	82°45.84'	09°39.36'	0.34	5.00	4.73	0.11	0.32	26.77	42	127	227	44	15	7	97							
17	Puerto Viejo Sur	82°45.24'	09°39.60'	1.49	19.40	0.12	0.00	0.03	1.44	8	30	44	27	39	10	14							
18	Cocles Norte	82°44.64'	09°39.54'	1.41	16.91	0.25	0.01	0.06	2.67	9	32	57	22	31	13	16							
19	Cocles Sur	82°43.56'	09°38.70'	1.27	13.10	0.19	0.00	0.05	2.37	9	37	66	29	29	13	18							
20	Chiquita	82°43.08'	09°38.64'	2.43	35.78	0.47	0.05	0.04	1.52	15	45	48	31	25	12	20							
21	Punta Uva	82°41.04'	09°38.28'	2.33	25.06	0.60	0.05	0.05	2.81	25	50	73	28	29	12	22							
22	Manzanillo	82°39.12'	09°38.28'	2.36	28.33	0.67	0.05	0.05	3.07	26	49	64	29	25	10	29							

* Indicados en la figura 1 (a).

el multicanal Nucleus II. La determinación de la intensidad de la radiación detectada y asociada a cada fotopico es realizada por el programa de deconvolución (AXIL), que forma parte de un paquete de programas QXAS (Quantitative X-Ray Anlysis System) de la Agencia Internacional de Energía Atómica. Este programa corrige las interferencias entre líneas de energía similar y permite que los límites del análisis y el tiempo de conteo se establezcan, al identificar en forma directa los elementos detectados.

De acuerdo a Jenkins *et al.* (1981), se utiliza para evaluar la concentración de los elementos detectados en una muestra gruesa, la referencia comparativa con un estándar de sedimento. Las intensidades de los fotopicos encontrados en el estándar, son proporcionales a la concentración porcentual o relativa de los elementos relacionados con ellos. Se modifican y ajustan los resultados de estas concentraciones, tomando en consideración los elementos identificados en el estándar. Solo se realiza interpolación, en caso de encontrar un elemento en la muestra que no se encuentra en el estándar.

RESULTADOS

Costa Caribe: El resultado del análisis de las 22 muestras de sedimentos costeros para esta región se muestran en el Cuadro 1 y Figs. 2 y 3. El valor presentado corresponde al promedio de los resultados de la irradiación de tres pastillas de cada muestra, lo que permite evaluar el error del sistema de medición. Los elementos de mayor concentración en porcentaje son el hierro (Fe) y el calcio (Ca) lo cual identifica la fuente y naturaleza de los sedimentos en las distintas regiones. Existen sitios cuyos sedimentos son de naturaleza coralina con altas concentraciones de calcio, como Playa Bonita-06, Limón Centro-07, Cahuita-14, Puerto Viejo Sur-17, Punta Uva-21 y Manzanillo-22. La única playa con altas concentraciones de hierro es Puerto Viejo Norte (Fig. 2). Las concentraciones de los elementos traza (Cuadro 1 y Fig. 3) muestra concentraciones más altas de zinc y cobre que del resto de los elementos. Valores bajos de estos elementos se encuentran justamente en aquellos lugares donde hay altas concentraciones de

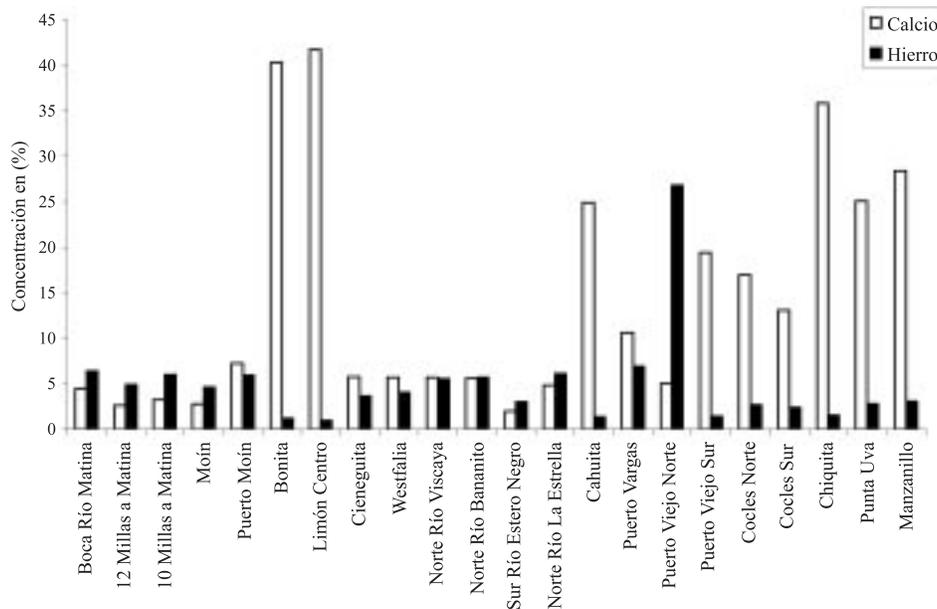


Fig. 2. Distribución de la concentración (%) de los elementos calcio y hierro en sedimentos de las costas del Caribe de Costa Rica.

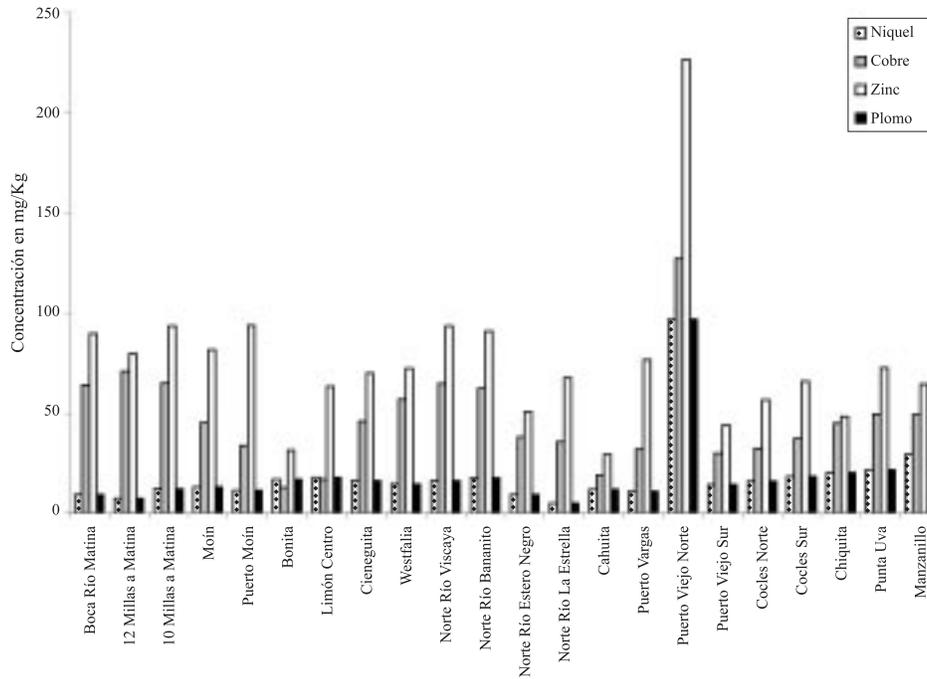


Fig. 3. Distribución de la concentración (mg/kg) de los elementos níquel, cobre, zinc y plomo en sedimentos de las costas del Caribe de Costa Rica.

carbonato de calcio (Eg: Playa Bonita-06 y Cahuita-14). Puerto Viejo Norte muestra valores excepcionales de estos elementos traza (incluyendo el plomo) que son indicativos de una fuente muy particular y que la naturaleza de estas arenas es volcánica como puede verse desde su color oscuro y metálico.

Pacífico Norte: El análisis de los elementos en esta región se muestran en el Cuadro 2 y Figs. 4 y 5. De nuevo, los elementos de mayor concentración son el hierro y el calcio, siendo este último el dominante. Los valores más altos en calcio y los más bajos en hierro se encuentran en Playa Mal País (14). Playa Guiones (06) muestra valores altos en calcio y en hierro. Los elementos traza muestran concentraciones, por ejemplo para el zinc y cobre, más bajas que las encontradas en el Caribe. Los niveles de níquel en esta área están por debajo del mínimo detectable. En Playa Naranja (03) y Playa Guiones (06) se encuentran los valores más altos en zinc de esta región. Algunas no muestran concentraciones medibles de plomo.

Pacífico Central: El Cuadro 3 y Figs. 6 y 7 muestran la concentración de los elementos estudiados. Las mayores concentraciones de calcio se encontraron en Playa Blanca (05), Playa Espadilla (14) y Playa Ventanas (25). La mayoría de ellas muestra un porcentaje más bajo en calcio que las playas del Pacífico Norte. Coincidentemente, los elementos traza muestran mayores concentraciones que en el Pacífico Norte. Los valores más altos de calcio se encontraron en Playa Blanca (05), Espadilla (14) y Playa Ventanas (25). De los elementos traza, el níquel mostró concentraciones significativas en la mayoría de las playas de esta región, especialmente entre Playa Herradura (06) y Playa Espadilla (14). Playa Palo Seco (12) muestra la mayor concentración de níquel de todas las playas muestreadas en este estudio.

Pacífico Sur: El Cuadro 4 y Figs. 8 y 9 muestran las concentraciones de los sedimentos estudiados. La concentración de calcio y hierro en la mayor parte de las estaciones es baja. Las concentraciones de calcio superan las del hierro en las playas hacia el exterior de Golfo Dulce,

CUADRO 2
Concentración en porcentaje (%) o en mg/kg (ppm) de los elementos que conforman los sedimentos marinos de la costa del Pacífico Norte de Costa Rica

No.*	Sitios	Long W	Lat N	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Elementos traza en mg/kg (ppm)									
										Cu	Zn	Br	Rb	Sr	Pb	Elementos de mayor concentración en %			
01	Puerto Soley	85°40.08'	11°02.51'	0.65	10.70	0.29	0.00	0.03	2.10	0	39	13	27	23	10				
02	Playa Junquillal	85°41.46'	10°58.20'	0.53	4.60	0.33	0.00	0.03	1.90	0	34	25	23	18	12				
03	Playa Naranjo	85°40.20'	10°46.91'	0.00	10.00	0.16	0.12	0.07	5.60	0	219	21	11	11	22				
04	Playas del Coco	85°42.02'	10°33.20'	0.20	7.30	1.30	0.03	0.13	7.50	32	55	13	6	20	0				
05	Playa Hermosa	85°40.83'	10°34.66'	0.21	19.80	0.95	0.00	0.10	6.30	34	53	16	11	23	0				
06	Playa Guiones	85°39.80'	09°55.20'	0.48	32.90	0.23	0.06	1.90	25.40	21	1639	16	6	0	0				
07	Playa Garza	85°38.69'	09°54.59'	0.42	26.50	0.43	0.00	0.09	3.10	26	33	13	19	15	0				
08	Playa Sámara	85°31.77'	09°52.86'	0.00	27.80	0.20	0.00	0.06	2.10	23	32	12	20	13	0				
09	Playa Carrillo	85°29.58'	09°52.86'	0.43	22.60	0.28	0.00	0.06	2.30	18	26	14	18	13	0				
10	Playa Islita	85°24.16'	09°51.23'	0.00	21.00	0.39	0.00	0.11	4.00	30	33	10	13	18	0				
11	Playa San Miguel	85°18.80'	09°48.68'	0.00	7.60	0.37	0.00	0.06	3.50	0	38	15	22	21	13				
12	Playa Coyote	85°17.16'	09°47.73'	0.00	11.80	1.40	0.04	0.11	5.50	24	54	19	25	25	17				
13	Playa Ario	85°12.95'	09°42.86'	0.00	10.70	0.76	0.00	0.08	3.80	24	37	7	19	16	0				
14	Playa Mal País	85°08.71'	09°35.98'	0.65	39.50	0.09	0.00	0.06	1.10	0	27	16	19	15	13				
15	Playa Montezuma	85°04.21'	09°39.23'	0.00	25.00	1.50	0.02	0.14	6.20	35	63	13	12	14	0				
16	Playa Tambor	85°01.14'	09°03.20'	0.46	2.40	0.75	0.02	0.12	6.30	44	64	29	31	17	0				

* Indicados en la figura 1 (b).

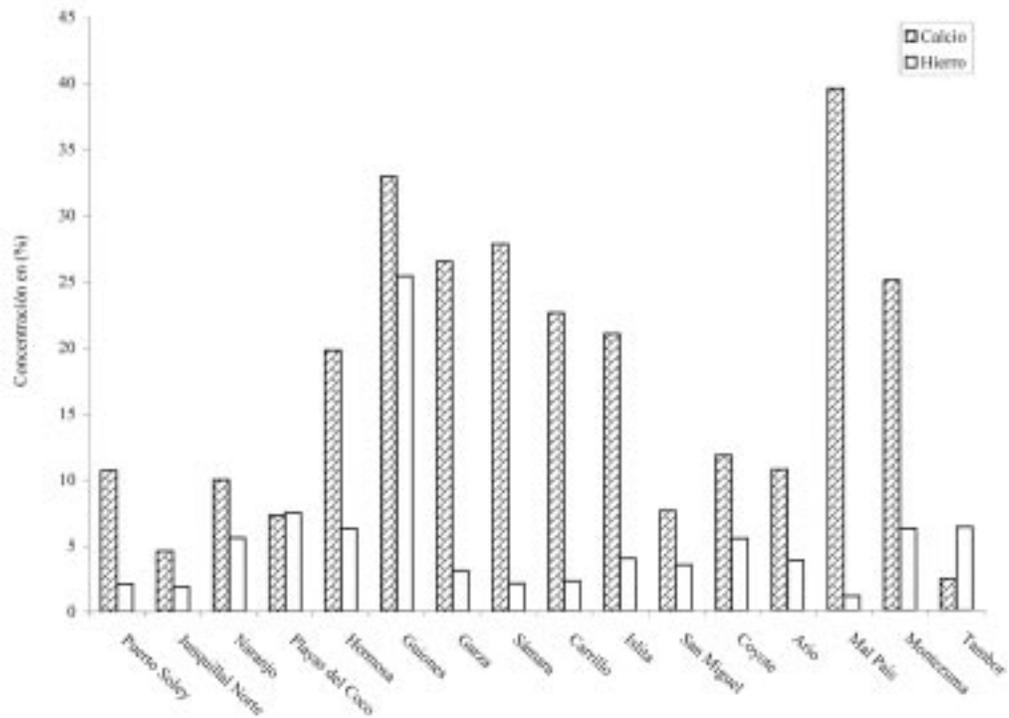


Fig. 4. Distribución de la concentración (%) de los elementos calcio y hierro en sedimentos de las costas del Pacífico Norte de Costa Rica.

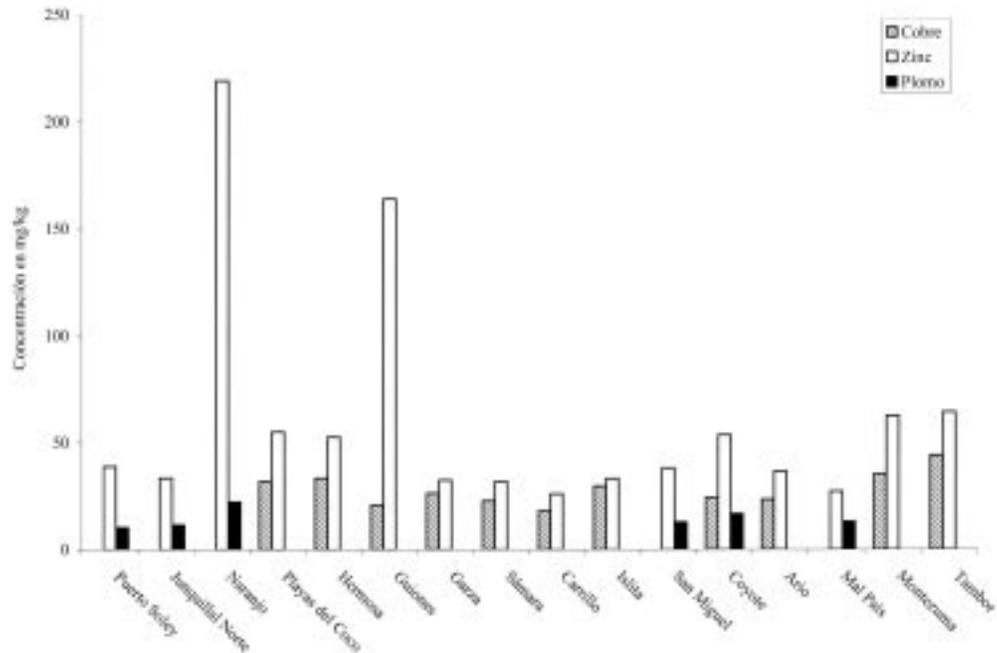


Fig. 5. Distribución de la concentración (mg/kg) de los elementos cobre, zinc y plomo en sedimentos de las costas del Pacífico Norte de Costa Rica.

CUADRO 3
 Concentración en porcentaje (%) o en mg/kg (ppm) de los elementos que conforman los sedimentos marinos de la costa del Pacífico Central de Costa Rica

No.* Sitios	Long W	Lat N	Elementos de mayor concentración en %										Elementos traza en mg/kg (ppm)									
			K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Rb	Sr	Pb							
01	Playa Caldera	84°42.93'	09°55.43'	0.92	2.95	0.54	0.01	0.09	5.58	21	53	82	23	34	14	12						
02	Playa Trivives	84°42.80'	09°52.90'	1.06	2.07	0.56	0.01	0.10	5.68	23	68	99	26	40	15	13						
03	Playa Bajamar	84°41.03'	09°50.81'	1.12	2.18	0.62	0.01	0.11	6.36	26	72	115	27	39	16	14						
04	Playa Guacalillo	84°40.49'	09°50.00'	1.20	2.18	0.50	0.01	0.10	5.31	22	67	98	20	44	17	11						
05	Playa Blanca	84°40.19'	09°42.14'	1.04	13.55	0.20	0.00	0.05	2.27	9	22	65	18	31	16	7						
06	Playa Herradura	84°39.53'	09°38.88'	0.66	5.84	0.72	0.03	0.11	7.57	68	105	84	8	9	17	5						
07	Playa Jacó	84°38.28'	09°37.23'	0.47	10.58	1.18	0.05	0.17	7.55	89	47	106	17	10	18	11						
08	Playa Hermosa	84°35.16'	09°33.69'	0.57	7.31	0.64	0.05	0.13	6.35	92	51	78	8	8	17	8						
09	Playa Esterillos Este	84°27.50'	09°31.55'	1.02	6.72	0.58	0.58	0.18	5.80	74	38	73	23	27	18	19						
10	Playa Bejuco	84°26.27'	09°31.11'	1.10	4.06	0.80	0.03	0.14	7.50	107	62	103	29	31	23	21						
11	Playa Palma	84°22.96'	09°30.24'	1.27	2.90	0.80	0.03	0.13	7.31	127	80	110	21	35	22	19						
12	Playa Palo Seco	84°19.59'	09°29.51'	0.94	4.74	1.12	0.04	0.14	9.08	145	74	99	23	21	21	13						
13	Puerto Quepos	84°10.10'	09°25.97'	1.14	3.06	0.96	0.04	0.15	7.14	76	61	107	15	22	21	18						
14	Playa Espadilla	84°08.88'	09°23.15'	0.88	28.15	0.34	0.01	0.07	2.58	78	21	42	28	21	15	6						
15	Playa Savegre	84°03.45'	09°21.44'	0.87	1.89	0.44	0.01	0.09	5.18	31	58	89	22	23	18	11						
16	Playa Matapalo	83°57.63'	09°19.10'	0.89	1.63	0.40	0.01	0.10	5.02	25	51	85	25	23	16	14						
17	Playa Guapil	83°53.12'	09°16.00'	0.92	1.40	0.38	0.01	0.09	4.90	22	49	88	27	25	17	16						
18	Playa Dominical	83°51.57'	09°14.91'	1.01	1.15	0.42	0.01	0.11	5.26	18	58	100	32	28	17	18						
19	Playa Dominicalito	83°50.54'	09°13.85'	0.93	1.06	0.43	0.01	0.08	5.59	16	55	109	47	30	17	24						
20	Playa Hermosa	83°46.84'	09°11.63'	1.18	2.13	0.31	0.01	0.17	4.74	10	56	82	29	33	18	19						
21	Playa Punta Uvita	83°45.00'	09°09.24'	1.08	2.01	0.36	0.01	0.09	4.87	15	47	82	25	34	16	18						
22	Playa Pedregosa	83°43.95'	09°08.34'	1.22	1.82	0.38	0.01	0.10	4.84	15	55	81	26	35	18	19						
23	Playa Ballena	83°42.47'	09°07.17'	1.61	1.70	0.38	0.00	0.08	3.91	13	40	73	28	45	20	14						
24	Playa Piñuelas	83°41.46'	09°06.19'	0.77	6.68	2.74	0.03	0.19	10.33	21	40	99	11	15	14	14						
25	Playa Ventanas	83°40.78'	09°05.45'	0.96	14.62	0.47	0.01	0.15	3.68	17	20	63	19	22	20	13						
26	Playa Boca Brava	83°38.37'	09°03.11'	1.28	2.41	0.40	0.01	0.08	4.17	13	47	80	19	37	364	7						

* Indicados en la figura 1 (c).

mientras que lo contrario se cumple para el interior, donde por ejemplo, en Bahía Golfito (08), hay altos valores de hierro, y de los elementos traza. El plomo y el níquel son también, elementos presentes en estas playas.

DISCUSIÓN

Costa Caribe: En Cortés & Guzmán (1985), Cortés & León (2002) y Cortés & Jiménez (2003a) se señala la existencia de parches arrecifales entre Moín y Limón Centro (Muelle Alemán), algunos de los cuales quedaron expuestos y murieron luego del terremoto de Limón el 21 abril de 1991 (Cortés *et al.* 1994). La morfología de las playas como Playa Bonita y Limón Centro forman una trampa para los sedimentos marinos. Siendo la fuente principal de estos sedimentos los arrecifes coralinos que existen en sus bordes, se explica la alta concentración de calcio proveniente no solo del coral mismo, sino del carbonato de calcio de otros organismos marinos como fragmentos de moluscos, espículas, foraminíferos y algas calcáreas (Stanley & Swift 1976; Heikoop & Risk 1993) (muestras No. 6 y 7, Cuadro 1 y Fig. 3) que se encuentran en Playa Bonita y Limón Centro. En Cahuita está el arrecife de coral mejor desarrollado de la costa Caribeña de Costa Rica (Cortés & Risk 1985). Esta es la fuente que podría explicar el alto porcentaje de calcio en las muestras No. 14 y 15 del Cuadro 1 y Fig. 3. Parches de arrecifes coralinos se encuentran también entre Puerto Viejo y Manzanillo, lo que podría explicar la alta concentración de este elemento a partir de la muestra No. 17 hasta la 22 (Fig. 3). Análisis de sedimentos costeros realizados entre Punta Uva (21) y Manzanillo (22) por Heikoop & Risk (1993) y Cortés *et al.* 1998, muestran altas concentraciones de carbonato de calcio en esta zona, los cuales son ligados a ambientes arrecifales en sus alrededores. El resto de las otras muestras contiene un bajo porcentaje en calcio, evidenciando esto, la poca formación coralina de sus bordes. En la mayoría de estas, la concentración de hierro es

CUADRO 4
Concentración en porcentaje (%) o en mg/kg (ppm) de los elementos que conforman los sedimentos marinos de la costa del Pacífico Sur de Costa Rica

No.* Sitio	Long W	Lat N	Elementos de mayor concentración en %										Elementos traza en mg/kg (ppm)									
			K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Br	Rb	Sr	Pb							
01 Playa Carate	83°27.72'	08°26.54'	0.30	4.61	0.49	0.02	0.09	5.23	59	54	69	25	7	107	6							
02 Playa Carbonera	83°16.96'	08°24.60'	0.91	14.41	0.22	0.00	0.05	1.85	16	40	47	8	18	411	5							
03 Playa Platanares	83°17.60'	08°30.60'	0.54	9.58	0.54	0.02	0.09	4.98	54	35	83	18	15	360	11							
04 Puerto Jiménez	83°18.35'	08°32.32'	0.54	4.03	0.73	0.03	0.10	5.75	65	56	119	27	14	141	14							
05 Playa Blanca	83°26.53'	08°38.48'	0.16	1.03	0.08	0.00	0.02	0.94	10	10	12	1	1	22	1							
06 Rincón	83°29.03'	08°41.67'	0.44	4.08	0.54	0.03	0.10	6.00	73	73	82	16	13	160	7							
07 Puntarenitas	83°11.00'	08°37.00'	0.21	3.68	0.58	0.02	0.07	3.67	34	26	52	9	3	81	3							
08 Bahía Golfito	83°10.02'	08°38.30'	0.57	2.18	0.69	0.02	0.12	8.37	47	124	131	29	16	121	12							
09 Playa Pavones	83°07.08'	08°27.13'	0.28	6.19	0.50	0.02	0.10	5.64	65	67	64	24	5	121	5							
10 Punta Banco	83°08.09'	08°21.43'	0.30	6.79	0.60	0.02	0.11	5.85	63	80	65	9	4	89	4							

* Indicados en la figura 1 (d).

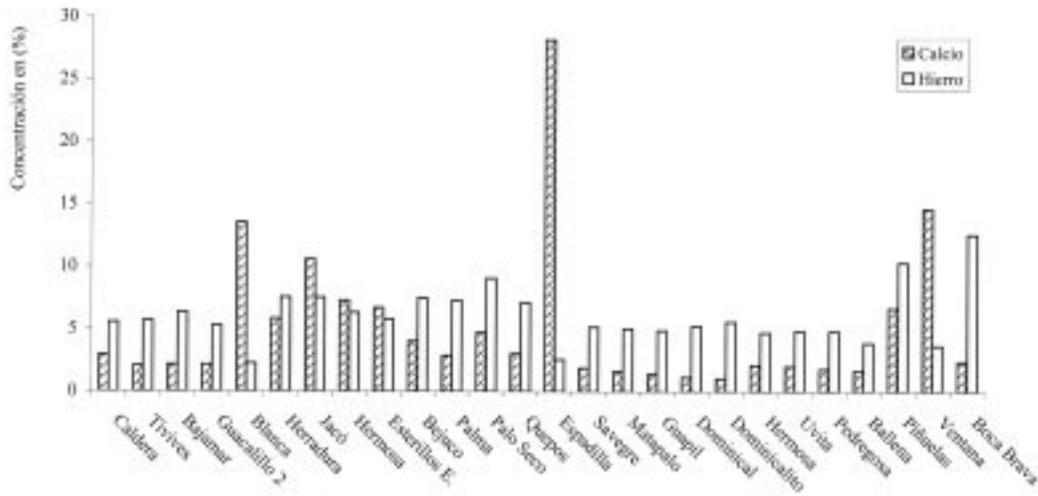


Fig. 6. Distribución de la concentración (%) de los elementos calcio y hierro en sedimentos de las costas de Pacífico Central de Costa Rica.

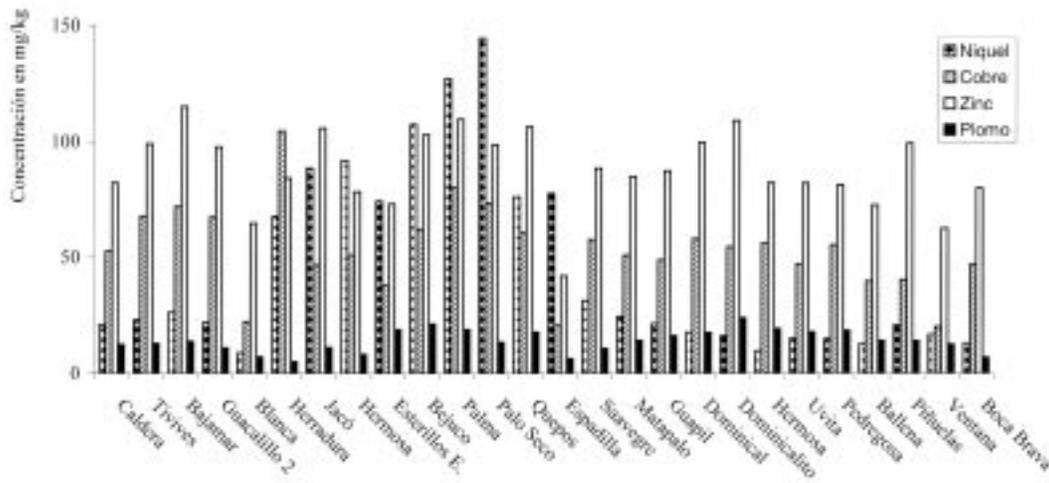


Fig. 7. Distribución de la concentración (mg/kg) de los elementos níquel, cobre, zinc y plomo en sedimentos de las costas del Pacífico Central de Costa Rica.

mayor, indicando la predominancia del carácter terrígeno de los sedimentos que tapizan el suelo. Es notorio en estas playas que las arenas son oscuras y con un brillo metálico característico del mineral magnetita (óxido de hierro, Denyer & Cárdenes 2000). Mención especial merece la muestra No. 16: Puerto Viejo Norte (Fig. 2), la cual contiene la más alta concentración de hierro de todas las muestras analizadas

en este estudio. Justo antes de alcanzar el case-río de Puerto Viejo es fácil distinguir el carácter oscuro y metálico de la playa frente a la carretera. Además del sedimento propio del borde de esta playa, rica en magnetita (Obando 2000; Heikoop 1991), un riachuelo que alcanza esta orilla, parece ser una fuente adicional de este material ferro-magnetoso desde tierra adentro. Cortés *et al.* (1998) encontró altas

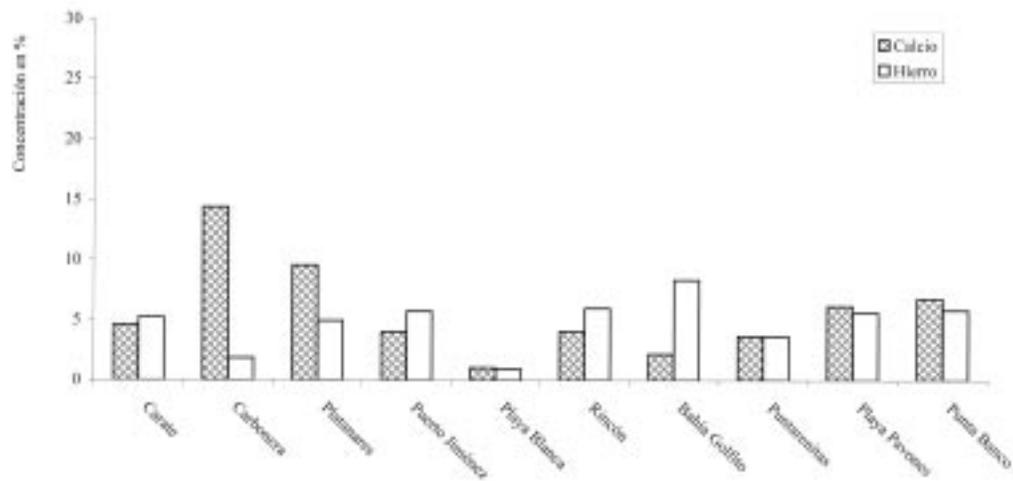


Fig. 8. Distribución de la concentración (%) de los elementos calcio y hierro en sedimentos de las costas del Pacífico Sur de Costa Rica.

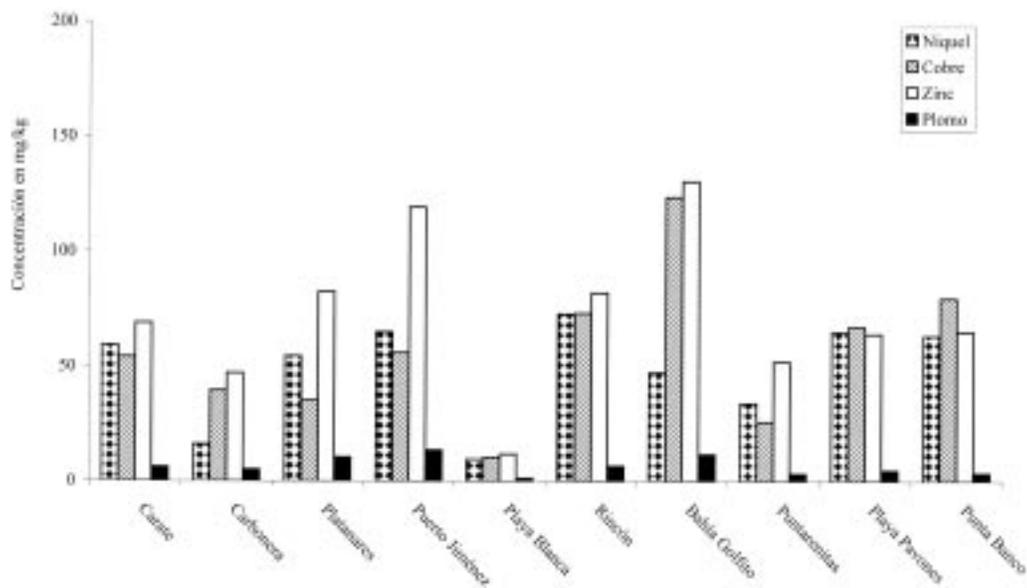


Fig. 9. Distribución de la concentración (mg/kg) de los elementos níquel, cobre, zinc y plomo en sedimentos de las costas del Pacífico Sur de Costa Rica.

concentraciones de magnetita en algunas muestras entre Punta Uva y la desembocadura del Río Sixaola. También observaron las grandes acumulaciones de este elemento en las “playas negras” de Puerto Viejo, cuyo origen es ligado a la Formación del Río Banano y de Uscari (Linkimer & Aguilar 2000).

El análisis de los elementos traza muestra el carácter terrígeno de las arenas y/o la poca contribución en el lugar de material calcáreo, lo cual estaría relacionado a la existencia o no de arrecifes en sus alrededores. El zinc (Zn) y el cobre (Cu) parece ser los abundantes en aquellos lugares donde justamente la concentración de calcio es baja. Estos elementos siguen la tendencia del cobre. Las concentraciones de estos elementos en Punta Uva y Manzanillo son del mismo orden de magnitud a las encontradas por Heikoop & Risk (1993). Puerto Viejo Norte (Fig. 3) mostró la más alta concentración en estos elementos de origen volcánico (Laguna 2000). Un elemento que sorpresivamente resultó tener muy alta concentración en este lugar, es el plomo (Pb) (Fig. 3). La alta concentración en titanio (Ti), la más alta en todos los sitios muestreados alrededor de Costa Rica (Cuadro 2), hace sospechar que este sitio es rico en estos elementos debido a posibles mineralizaciones hidrotermales en el pasado en sus alrededores (Laguna, comun. pers.). Por otro lado, Puerto Viejo es más bien una villa de pescadores, con poco tráfico de botes, por lo que las cantidades de plomo encontradas, no pueden ser asociadas a derrames de hidrocarburos en la zona.

Pacífico Norte: El calcio es el elemento de mayor concentración, indicando que estos sedimentos están constituidos por derivados biógenos, lo cual es evidencia de riqueza biológica en sus costas. Cortés & Murillo (1985) señalan que a lo largo de toda la costa Pacífica de Costa Rica existen algunos arrecifes o comunidades de corales, a excepción del Golfo de Nicoya. Mayores concentraciones de calcio se notan a partir de Playa Hermosa hasta Playa Islita (muestras No. 5 a la 10, Cuadro 2 y Fig.

5). Cortés & Jiménez (2003b) indican la presencia de comunidades arrecifales aisladas desde Punta Guiones hasta Cabo Blanco. Las muestras tomadas en estos lugares evidenciaban el contenido de carbonato de calcio en el sedimento por su carácter blanquecino de las partículas. Resalta la alta concentración de calcio, hierro y zinc que se encontró para Playa Guiones. Debe mencionarse que en el tiempo que se tomó esta muestra, esta playa tenía problemas severos de erosión dado el impacto ocasionado por oleajes fuertes durante mareas extraordinarias que ocurrieron en períodos recientes al muestreo. Estos eventos pudieron haber descubierto capas de suelo de origen volcánico que nos explican estas altas concentraciones de hierro. Malpaís y Montezuma vuelven a mostrar un pico de concentración de calcio asociada probablemente a la presencia de comunidades arrecifales en estas costas rocosas, apropiadas para el establecimiento de estos organismos. Playa Tambor, más bien hacia el interior del Golfo de Nicoya, es el único lugar donde la concentración de calcio es baja, superada por la concentración de hierro. Muestra también valores relativamente altos en zinc y cobre, indicando la naturaleza terrígena de sus arenas.

Pacífico Central: La mayoría de ellas muestra un porcentaje más bajo en calcio y más altas concentraciones en elementos traza que las playas del Pacífico Norte, lo cual puede ser un indicativo de la menor existencia de fuentes del carbonato de calcio, típico de los corales. Según Cortés & Jiménez (2003b), comunidades arrecifales están presentes en Punta Leona (Playa Blanca). Esto podría explicar la alta concentración en calcio en esta zona. En el Parque Nacional de Manuel Antonio está Playa Espadilla donde hay una variedad de tipos de coral (Cortés & Murillo 1985) que pueden contribuir con la alta concentración de calcio que muestra la Fig. 7. Playa Ventanas es una pequeña bahía limitada por salientes rocosos, propicios para el establecimiento de comunidades arrecifales. Además, por su forma, constituye una trampa para estos materiales, por lo

que es razonable la alta concentración de calcio en sus sedimentos. El resto de las playas en esta región muestran su carácter litogénico con la presencia del óxido de hierro (magnetita), muy típica de estas regiones, y que como señala Obando (2000), tienen una composición de minerales muy heterogénea.

Pacífico Sur: Por la dificultad de llegar a los sitios costeros, durante este estudio no se realizaron muestreos el interior de Golfo Dulce entre Punta Estrella y la entrada de Bahía Golfito. Entre estos sitios, Cortés & Jiménez (2003b) sitúan comunidades arrecifales. Las únicas muestras tomadas cerca de algunas comunidades arrecifales fueron la No. 1, 2 y 3 (Cuadro 4 y Fig. 9), que muestran los valores más altos de esta región. En Puerto Jiménez, Rincón y Bahía Golfito, hay evidencia de mayor contribución terrígena a los sedimentos que tapizan los bordes de estas regiones, lo cual también podría ser indicativo de que no hay formación de comunidades coralinas en sus alrededores.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Escuela de Física y al Centro de Investigaciones en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares (CICANUM), al Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), todos de la Universidad de Costa Rica, por su valiosa colaboración en esta investigación. Al apoyo de la Vicerrectoría de Investigación a través de los Proyectos No. 112-A0-019, 112-99-305 y 808-A3-009.

RESUMEN

Utilizando Fluorescencia de Rayos-X dispersiva en energía, que permite la evaluación simultánea de los isótopos estables de trece elementos, se analizaron setenta y cuatro muestras de sedimentos marinos de las regiones intermareales para las costas del Caribe y del Pacífico Norte, Central y Sur de Costa Rica. Los elementos calcio y hierro fueron los más abundantes y son representativos del

origen de la formación natural del sedimento, estando el primero asociado a procesos biogénicos, tales como sistemas arrecifales coralinos cercanos al sitio de muestreo y el segundo esta asociado mas bien a sedimentos de carácter litogénico. En general, las playas del Pacífico Norte mostraron la mayor concentración de calcio lo que es indicativo de mayor existencia de estructuras arrecifales en sus alrededores. El análisis de los elementos traza, ligados a un origen terrígeno, muestran un patrón similar al hierro en la mayoría de las regiones. Las playas del Pacífico Central y Sur muestran las mayores concentraciones de estos elementos traza, indicando una mayor contribución terrígena y/o poco contribución de carbonato de calcio debido al escaso desarrollo de estructuras coralinas en estas regiones. Por último, el análisis no mostró evidencia de contaminación antropogénica y solo una sección al norte de la Playa Puerto Viejo presentaron concentraciones altas de plomo zinc y titanio, lo cual podría estar ligado a fuentes hidrotermales en esta región.

REFERENCIAS

- Cortés, J. & C. Jiménez. 2003a. Past, present and future of the coral reefs of the Caribbean coast of Costa Rica. p. 223-239. *In* J. Cortés (ed.). Latin American Coral Reefs. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Cortés, J. & C. Jiménez. 2003b. Corals and coral reefs of the Pacific of Costa Rica: history, research and status. p. 361-385. *In* J. Cortés (ed.). Latin American Coral Reefs. Elsevier Science. 497 p.
- Cortés, J. & A. León. 2002. Arrecifes coralinos del Caribe de Costa Rica/ The Coral Reefs of Costa Rica's Caribbean Coast. Edit. INBio, Heredia, Costa Rica. 139 p.
- Cortés, J. & M. M. Murillo. 1985. Comunidades coralinas y arrecifes del Pacífico de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 33: 197-202.
- Cortés, J. & H. M. Guzmán. 1985. Arrecifes coralinos de la costa Atlántica de Costa Rica. *Brenesia.* 23: 275-292.
- Cortés, J. & M. J. Risk. 1985. A reef under siltation stress: Cahuita, Costa Rica. *Bull. Mar. Sci.* 36: 339-356.
- Cortés, J., R. Soto & C. Jiménez. 1994. Efecto Ecológicos del Terremoto de Limón. *Geol. Amér. Central.* Vol. Esp. Terremoto de Limón, Costa Rica: 187-192.
- Cortés, J., A. C. Fonseca, M. Barrantes & P. Denyer. 1998. Type, distribution, and origin of sediments of the Gandoca-Manzanillo National Wildlife Refuge,

- Limón, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 46. Supl. 6: 251-256.
- Denyer, P. & G. Cárdenes. 2000. Costas marinas. p 185-218. *In* P. Denyer & S. Kussmaul (eds.). *Geología de Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- García-Céspedes, J., J. Acuña-González & J.A. Vargas-Zamora. 2004. Metales traza en sedimentos costeros de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (Supl. 3A): 51-60.
- Jenkins, R., R. W. Gould & D. Gecke. 1981. *Quantitative X-Ray Spectrometry*. Marcel Dekker, Inc. Nueva York, USA. 450-457.
- Heikoop, J. M. 1991. Evidence of longshore drift in beach sediment: Manzanillo, Costa Rica. B.Sc. Thesis. McMaster University, Ontario. 44 p.
- Heikoop, J. M. & M. J. Risk. 1993. Heavy minerals as indicator of longshore drift in beach sediment at Manzanillo, Limon Province, Costa Rica. *Brenesia*. 39-40: 51-58.
- Komar, P. D. 1976. *Beach processes and sedimentation*. Printice-Hall, Inc. Nueva Jersey. 429 p.
- Koopman, C. & A. Orange. 1991. Multielement determination in sediments from German Wadden Sea, investigations on sample preparation techniques. *Spectrochimica Acta*. 46B: 1395-1402.
- Laguna, J. E. 2000. Geoquímica. p 411-423. *In* P. Denyer & S. Kussmaul (eds.). *Geología de Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Linkimer, L. & T. Aguilar. Estratigrafía sedimentaria. p 43-62. *In* P. Denyer & S. Kussmaul (eds.). *Geología de Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Obando, L. G. 2000. Minerales. p 17-42. *In* P. Denyer & S. Kussmaul (eds.). *Geología de Costa Rica*. Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Riba, I., V. Zitko, J. M. Forja & T. A. DelValls. 2003. Deriving sediment quality guidelines in the Guadalquivir estuary associates with Asnalcollar mining spill: A comparison of different approaches. *Ciencias Marinas*. 29: 261-274.
- Ryan, J. D. & H. L. Windom. 1988. A geochemical and statistical approach for assessing metal pollution in Coastal Sediments. p. 47-58. *In* Seeliger, U., L. D. de Lacerda & S. R. Patchineelam (ed.). *Metal in Coastal Environments of Latin America*. Springer. Londres.
- Stanley, D. J. & D. J. P. Swift. 1976. *Marine sediment transport and environmental management*. John Wiley & Sons. Nueva York, USA. 592 p.

