



7

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
Colegio de Ciencias y Humanidades
Unidad Académica de los ciclos Profesional y de Posgrado

**“GEOQUIMICA DE METALES PESADOS Y MINER-
LOGIA DE LA FRACCION ARCILLOSA DE LOS
SEDIMENTOS DE CUATRO PUERTOS
DEL GOLFO DE CALIFORNIA”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS DEL MAR

(OCEANOGRAFIA GEOLOGICA)

P R E S E N T A:

CARLOS RENE GREEN RUIZ

ASESOR: DR. FEDERICO PAEZ OSUNA

Mazatlán, Sin.

Noviembre de 2000

285418



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A LA MEMORIA DE MI MADRE:

MARIA DE JESUS RUIZ PEREZ

QUIEN HASTA SU ULTIMO MOMENTO
TUVO PALABRAS DE ALIENTO PARA
SUS HIJOS Y ESTOY SEGURO QUE
COMPARTE ESTE MOMENTO
CONMIGO.

CON TODO MI AMOR PARA MI ESPOSA
LEONOR, Y MIS HIJOS DAVID ENRIQUE,
DANIEL Y GABRIELA, MI PEQUEÑA GRAN
FAMILIA QUE ME DA FORTALEZA Y
ANIMOS PARA CONTINUAR LUCHANDO
EN LA VIDA.

A MIS HERMANOS, CON EL CARIÑO
HEREDADO DE NUESTROS PADRES.
ESPECIALMENTE PARA YANIRA Y
VELVET CON QUIENES VIVI
MOMENTOS DIFICILES.

CARLOS RENE

I N D I C E

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
1.- ANTECEDENTES	4
1.1 Los metales pesados	4
1.1.1 Generalidades	4
1.1.2 Investigación sobre metales pesados en sedimentos costeros	8
1.1.3 Métodos de normalización y criterios para definir enriquecimientos metálicos	15
1.1.4 Estimación de la biodisponibilidad potencial de los metales ..	18
1.2 La actividad portuaria	20
1.3 Generalidades de las áreas de estudio	21
1.3.1 Bahía de Mazatlán, Sin.	23
1.3.2 Sistema lagunar Bahías de Ohuira y Topolobampo, Sin.	26
1.3.3 Bahía de Guaymas, Son.	29
1.3.4 Laguna de La Paz y zona adyacente de la bahía de la Paz, B. C. S.	31
1.4 Objetivos	34
2.- METODOLOGÍA	36
2.1 Muestreo	36
2.2 Granulometría	41
2.3 Mineralogía	41
2.4 Análisis geoquímicos	44
2.5 Procesamiento de los datos	48
3.- Características granulométricas, mineralógicas y geoquímicas de los sedimentos de la Bahía de Mazatlán	54
3.1 Granulometría	54
3.2 Mineralogía de la fracción arcillosa de los sedimentos	55
3.3 Análisis geoquímico	62
3.3.1 Carbonatos	62
3.3.2 Carbono orgánico	62
3.3.3 Metales pesados	63
3.3.3.1 Distribución de los metales en los sedimentos superficiales.....	63

3.3.3.2 Distribución vertical de los metales pesados en el núcleo rastro	98
3.4 Análisis de componentes principales	114
3.5 Evaluación de la fracción de los metales relacionada con la descarga del emisor de aguas municipales	116
4.- Características granulométricas, mineralógicas y geoquímicas de los sedimentos del Sistema lagunar Bahías de Ohuira y Topolobampo	121
4.1 Granulometría	121
4.2 Mineralogía de la fracción arcillosa de los sedimentos	123
4.3 Análisis geoquímico	125
4.3.1 Carbonatos	125
4.3.2 Carbono orgánico	128
4.3.3 Metales en sedimentos del sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo	130
4.3.3.1 Distribución de los metales en los sedimentos superficiales	130
4.3.3.2 Distribución vertical de los elementos en los sedimentos del núcleo OH5	163
4.4 Análisis de componentes principales	173
5.- Características granulométricas, mineralógicas y geoquímicas de los sedimentos de la Bahía de Guaymas.....	179
5.1 Granulometría	179
5.2 Mineralogía de la fracción arcillosa de los sedimentos	179
5.3 Análisis geoquímico	185
5.3.1 Carbonatos	185
5.3.2 Carbono orgánico	185
5.3.3 Metales en sedimento en la Bahía de Guaymas	187
5.3.3.1 Distribución de los metales en los sedimentos superficiales	187
5.3.3.2 Distribución vertical de los elementos en los sedimentos del núcleo GYN	225
5.4 Análisis de componentes principales	234
6.- Características granulométricas, mineralógicas y geoquímicas de los sedimentos de la laguna de La Paz y región adyacente de la Bahía de la Paz	238
6.1 Granulometría	238
6.2 Mineralogía de la fracción arenosa de los sedimentos	240
6.3 Análisis geoquímico	240
6.3.1 Carbonatos	240

6.3.2	Carbono orgánico	244
6.3.3	Metales en sedimentos de la Laguna de La Paz y región adyacente de la Bahía de La Paz	245
6.4	Análisis de componentes principales	285
7.-	Análisis comparativo	290
7.1	Comparación de las concentraciones entre los cuatro puertos estudiados y otros cuerpos de agua en el mundo	290
7.2	Índice de geoacumulación, biodisponibilidad, y toxicidad de Cd, Cu, Pb y Zn	300
	Conclusiones	304
	Bibliografía	312
	Anexos	

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

- | | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Deficiencia y sobreabastecimiento de elementos esenciales y no esenciales. | 5 |
| 1.2 | Zonas de estudio en el Golfo de California. | 22 |

CAPITULO 2

METODOLOGIA

- | | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Localidades de muestreo en la Bahía de Mazatlán, Sin. | 37 |
| 2.2 | Distribución de las estaciones de muestreo en el sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo, Sin. | 38 |
| 2.3 | Distribución de las estaciones de muestreo en la Bahía de Guaymas, Son. | 39 |
| 2.4 | Localidades de muestreo en la Bahía de La Paz, B. C. S. | 40 |
| 2.5 | Metodología para la determinación del tamaño de grano de los sedimentos. | 42 |
| 2.6 | Análisis de la abundancia relativa de los minerales arcillosos. | 43 |
| 2.7 | Determinación del contenido de carbonatos. | 45 |
| 2.8 | Determinación de carbono orgánico. | 46 |
| 2.9 | Determinación de la concentración total de metales pesados. | 49 |
| 2.10 | Determinación de metales pesados biodisponibles. | 49 |

CAPITULO 3

BAHIA DE MAZATLAN

- | | | |
|------|--|----|
| 3.1 | Distribución del porcentaje de sedimentos finos (< 63 μm). | 56 |
| 3.2 | Distribución del porcentaje de a) montmorillonita y b) illita. | 59 |
| 3.3 | Distribución del porcentaje de a) caolinita y b) relación illita/ caolinita. | 60 |
| 3.4 | Distribución del porcentaje de a) carbonatos y b) carbono orgánico. | 61 |
| 3.5 | Comportamiento de los metales pesados a lo largo del estero de Urías, Mazatlán. | 64 |
| 3.6 | Distribución de la concentración de Aluminio (%). | 67 |
| 3.7 | Concentración de Litio contra Aluminio. | 69 |
| 3.8 | Distribución de a) la concentración de Cd (ppm) y b) porcentaje biodisponible de Cd (%). | 70 |
| 3.9 | Concentración de Cd contra C orgánico. | 73 |
| 3.10 | Distribución de la concentración de Co (ppm). | 75 |
| 3.11 | Concentración de Co contra a) Al y b) Li. | 78 |
| 3.12 | Distribución de a) la concentración de Cr (ppm) y b) el factor de enriquecimiento de Cr empleando Li como elemento conservativo. | 79 |
| 3.13 | Concentración de Cr contra a) Al y b) Li. | 80 |
| 3.14 | Distribución de a) la concentración de Cu (ppm) y b) la proporción de Cu biodisponible. | 82 |

3.15	Concentración de Cu total contra C orgánico.	83
3.16	Distribución de a) la concentración de hierro (%) y b) y factor de enriquecimiento de hierro empleando Li como elemento conservativo.	85
3.17	Concentración de Fe contra a) Al y b) Li.	86
3.18	Distribución de la proporción de Fe biodisponible (%).	88
3.19	Distribución de la concentración de Li (ppm).	89
3.20	Distribución de a) concentración de Mn (ppm) y b) el factor de enriquecimiento empleando Li como elemento conservativo.	91
3.21	Concentración Mn contra a) Al y b) Li.	93
3.22	Distribución de la concentración de níquel (ppm).	94
3.23	Distribución de a) la concentración de plomo (ppm) y b) la proporción de plomo biodisponible (%).	96
3.24	Distribución de a) la concentración de Zn (ppm) y b) el factor de enriquecimiento de Zn empleando Li como elemento conservativo.	97
3.25	Concentración de Zn contra a) Al y b) Li.	99
3.26	Distribución de la proporción de zinc biodisponible (%).	100
3.27	Perfiles de las concentraciones de metales pesados, carbonatos y C orgánico del núcleo Rastro.	102
3.28	Representación esquemática de la zonación en la columna sedimentaria con respecto a la diagénesis del Mn.	107
3.29	Análisis de componentes principales en sedimentos de Mazatlán, Sin.	117
3.30	Distribución de a) Cu y b) Zn provenientes del emisor (%).	119
3.31	Distribución del componente de Fe proveniente del emisor (%).	120

CAPITULO 4 SISTEMA LAGUNAR BAHIAS DE OHUIRA Y TOPOLOBAMPO

4.1	Distribución del porcentaje de sedimentos finos.	122
4.2	Distribución del porcentaje de a) montmorillonita y b) illita.	124
4.3	Distribución de a) la concentración de caolinita y b) relación illita/caolinita.	126
4.4	Distribución de la concentración a) carbonatos y b) carbono orgánico.	129
4.5	Distribución de concentración de aluminio.	132
4.6	Concentración de Al contra Li.	133
4.7	Distribución de a) concentración de cadmio y b) proporción potencialmente biodisponible de cadmio.	135
4.8	Distribución de concentración total de cobalto.	137
4.9	Concentración de cobalto contra a) aluminio y b) litio.	139
4.10	Distribución de a) concentración total de cromo y b) factor de enriquecimiento del cromo.	141
4.11	Concentración de cromo contra a) aluminio y b) litio.	142
4.12	Distribución de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento de cobre.	144

4.13	Concentración de cobre contra a) Al y b) distribución de la proporción de cobre biodisponible.	145
4.14	Distribución de a) concentración y b) factor de enriquecimiento del hierro.	147
4.15	Concentración de hierro contra a) aluminio y b) litio.	148
4.16	Distribución de la proporción de hierro biodisponible.	150
4.17	Distribución de la concentración total de litio.	151
4.18	Distribución de a) concentración total y b) factores de enriquecimiento de manganeso.	153
4.19	Concentración de manganeso contra a) aluminio y b) litio.	155
4.20	Distribución de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del níquel.	156
4.21	Concentración de níquel contra a) aluminio y b) litio.	157
4.22	Distribución de a) concentración de plomo y b) proporción de plomo biodisponible.	159
4.23	Distribución de a) concentración total y b) factores de enriquecimiento de zinc.	161
4.24	Concentración de zinc contra a) aluminio y b) litio.	162
4.25	Distribución de la proporción de zinc biodisponible.	164
4.26	Perfiles de las concentraciones de metales pesados, carbonatos y carbono orgánico del núcleo OH5.	165
4.27	Análisis de componentes principales.	174
4.28	Distribución de los grupos definidos de acuerdo a sus cargas.	176

CAPITULO 5 BAHIA DE GUAYMAS

5.1	Distribución a) del porcentaje de sedimentos finos y b) de las regiones de la Bahía de Guaymas.	180
5.2	Distribución del porcentaje de a) montmorillonita y b) illita.	181
5.3	Distribución de a) la concentración de caolinita y b) relación illita/caolinita.	184
5.4	Distribución de la concentración a) carbonatos y b) carbono orgánico.	186
5.5	Distribución de concentración total de aluminio.	190
5.6	Distribución de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del cadmio.	192
5.7	Concentración de Cd contra a) Al y b) Li.	193
5.8	Distribución de la proporción biodisponible de Cd.	195
5.9	Distribución de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del cobalto.	198
5.10	Concentración de Co contra a) Al y b) Li.	199
5.11	Distribución de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del cromo.	200
5.12	Concentración de Cr contra a) Al y b) Li.	202

5.13	Distribución de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento de cobre.	203
5.14	a) Concentración de Cu contra Al y b) distribución de la proporción de cobre biodisponible.	205
5.15	Distribución de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del hierro.	207
5.16	Concentración de Fe contra a) Al y b) Li.	208
5.17	Distribución de la proporción de hierro biodisponible.	209
5.18	Distribución de a) concentración total y b) factor enriquecimiento del litio.	211
5.19	Concentración de Li contra Al.	212
5.20	Distribución de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del manganeso.	214
5.21	Concentración de Mn contra a) Al y b) Li.	215
5.22	Distribución de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del níquel.	216
5.23	Concentración de Ni contra a) Al y b) Li.	218
5.24	Distribución de concentración total de plomo.	219
5.25	a) Concentración de Pb contra Al y b) distribución de la proporción de plomo biodisponible.	221
5.26	Distribución de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento de zinc.	222
5.27	Concentración de Zn contra a) Al y b) Li.	224
5.28	Distribución de la proporción de biodisponible del zinc.	226
5.29	Perfiles de las concentraciones de metales pesados, carbonatos y carbono orgánico del núcleo GYN.	227
5.30	Análisis de componentes principales.	236

CAPITULO 6 LAGUNA DE LA PAZ Y REGIÓN ADYACENTE

6.1	Distribución del tamaño promedio de los sedimentos en la Laguna de La Paz.	239
6.2	Subambientes sedimentarios del interior de la Laguna de La Paz.	241
6.3	Distribución de la concentración a) carbonatos y b) carbono orgánico.	243
6.4	Distribución de concentración de aluminio.	248
6.5	Concentración de Al contra Li.	250
6.6	Distribución de a) la concentración de cadmio y b) la proporción de Cd biodisponible.	252
6.7	Distribución de la concentración total de cobalto.	256
6.8	Concentración de Co contra a) Al y b) Li.	258
6.9	Distribución de a) concentración de cromo.	259
6.10	Distribución de a) concentración de cobre y b) factor de enriquecimiento de Cu.	261
6.11	a) Concentración de Cu contra Al y b) Li.	263
6.12	Distribución de la proporción de cobre biodisponible.	265

6.13	Distribución de a) la concentración de hierro y b) factor de enriquecimiento del Fe.	266
6.14	Concentración de Fe contra a) Al y b) Li.	268
6.15	Distribución de la proporción de hierro biodisponible.	269
6.16	Distribución de la concentración de litio.	271
6.17	Distribución de a) concentración de manganeso y b) factor de enriquecimiento del Mn.	273
6.18	Concentración de Mn contra a) Al y b) Li.	275
6.19	Distribución de a) la concentración de níquel y b) factor de enriquecimiento del Ni.	276
6.20	Concentración de Ni contra a) Al y b) Li.	278
6.21	Distribución de a) la concentración de plomo y b) la proporción de plomo biodisponible.	279
6.22	Distribución de a) la concentración de zinc y b) el factor de enriquecimiento de Zn.	281
6.23	Concentración de Zn contra a) Al y b) Li.	283
6.24	Distribución de la proporción de Zn biodisponible.	284
6.25	Análisis de componentes principales.	287

R E S U M E N

Con la finalidad de conocer la alteración de la actividad antropogénica sobre los procesos geoquímicos de algunos metales pesados y su relación con la granulometría, mineralogía y los contenidos de carbonatos y carbono orgánico de los sedimentos de las Bahías de Guaymas, Son., Ohuira y Topolobampo, Sin., Mazatlán, Sin. y La Paz, B. C. S., se obtuvieron muestras de sedimento superficial de cuerpos de agua, así como un núcleo sedimentario en cada uno de los tres primeros de ellos. A las muestras sedimentarias se les determinó el porcentaje de las fracciones arenosa, limosa y arcillosa; a ésta última se le determinó la abundancia relativa de los minerales arcillosos. Asimismo, se cuantificó su contenido de carbonatos y carbono orgánico, así como las concentraciones totales de Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb y Zn, y el contenido potencialmente disponible para la biota de Cd, Cu, Fe, Pb y Zn.

En la Bahía de Guaymas se observaron tres regiones con diferente comportamiento geoquímico: (1) Laguna Interior, (2) Zona de transición y (3) Boca Oriente. Se mostró una fuerte correlación entre Al, Cr, Fe, Mn, Ni y Zn, y la capacidad de los sedimentos finos y el material orgánico de adsorber dichos metales. Se detectaron zonas de actividad antropogénica que se asocian con altas concentraciones de algunos metales, sugiriendo que posiblemente estén introduciéndolos al cuerpo de agua, como son la zona naval, los astilleros, el muelle de PEMEX y la cementera CEMEX.

En el sistema lagunar Bahías de Ohuira y Topolobampo se identifican tres regiones con características diferentes: (1) la cabeza de la Bahía de Ohuira, (2) la región suroeste de dicha bahía y (3) la Bahía de Topolobampo junto con la zona centro de la Bahía de Ohuira. Se observó que la principal fuente de aporte es la actividad agrícola y en menor grado las aguas municipales del poblado de Juan José Ríos y de Topolobampo, así como parcialmente, de la ciudad de Los Mochis.

En la Bahía de Mazatlán se observó una fuerte correlación entre Co, Cr, Fe, Li, Mn y Zn, dado su origen común y su susceptibilidad al efecto de dilución de los carbonatos; así como el papel importante que juega el contenido de carbono orgánico en el comportamiento geoquímico de cobre. Las principales fuentes de metales pesados identificadas en los sedimentos de este cuerpo de agua son el emisor de aguas municipales, la exportación a partir del estero de Urías, y las corrientes litorales que transportan material desde el norte de la zona de estudio. En lo particular, se distinguen los aportes naturales de cadmio a través de las surgencias que ocurren en la zona de estudio y la asociación de niveles altos de plomo con la mancha urbana.

Se definieron tres zonas geoquímicas en la Laguna de La Paz y la parte adyacente de la Bahía de La Paz: (1) la cuenca noroeste de la laguna, (2) el estero Zacatecas y la zona sur de la Bahía de La Paz y (3) el puerto de Pichilingue. La distribución de las

concentraciones de metales pesados en la Laguna de La Paz claramente sugiere que la erosión y en cierto grado la explotación minera de las rocas fosfóricas de la formación San Gregorio, en San Juan de la Costa, son su principal fuente de aporte, siendo transportados eólicamente y a través de las corrientes litorales.

Se concluye que el impacto de la actividad antropogénica de los cuatro puertos aquí estudiados sigue el orden La Paz << Ohuira-Topolobampo < Mazatlán << Guaymas.

Los niveles de cadmio, cobre y plomo en los sedimentos de la Bahía de Guaymas y de cadmio en aquellos de los otros tres cuerpos de agua pueden causar efectos adversos a la biota.

Abstract

In order to know the anthropogenic impact on the heavy metal geochemical processes and their interrelationship with grain size, relative abundance of clay mineral and carbonates and organic carbon contents, 247 superficial sediments and 3 sedimentary cores were collected from Mazatlán, Ohuira-Topolobampo and Guaymas bays and La Paz coastal lagoon. In addition to the above parameters, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb and Zn total concentrations and Cd, Cu, Fe, Pb and Zn bioavailable contents were determined.

A strong correlation among Cr, Fe, Li, Mn and Zn was observed at Mazatlán Bay as a result of their common origin (terrigenous) and their susceptibility from carbonate dilution. Another good correlation was found between organic carbon and Cu because the high metal-absorption capacity of the organic carbon. The municipal sewage effluents, the exportation from the industrialized Urias Estuary to Mazatlán Bay and the littoral currents which transport sedimentary material from the north end of the study zone were identified as the main sources of metals. In particular, cadmium importation from natural upwelling occurring into the coastal zone adjacent to the bay was observed.

Ohuira and Topolobampo bays have three areas with different features: (1) Ohuira Bay head, (2) southwestern Ohuira Bay region and (3) Topolobampo Bay and the middle zone of Ohuira Bay. The main source of metal is the agricultural activity and, in a less extent, the Juan José Ríos', Topolobampo's and Los Mochis' sewage.

Guaymas Bay presents three different regions: (1) Interior Lagoon, (2) Transition zone, and (3) Eastern mouth. A strong correlation among Al, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn and the fine sediment and organic matter capacity to absorb these metals was found. The navy zone, PEMEX dock, shipyards and CEMEX facility were identified as the potential heavy metal sources.

There are three geochemical zones at La Paz lagoon and the adjacent region of the La Paz Bay: (1) Northwestern basin into the lagoon, (2) Estero Zacatecas and southern region of the La Paz Bay and (3) Pichilingue harbour. Spatial distribution of metal concentrations suggests that natural erosion and mining exploitation of phosphoric rocks from San Gregorio Formation at San Juan de la Costa are their main sources. Aeolian and littoral currents transport of this material were observed.

Anthropogenic impact into the four harbours studied here follows the order La Paz << Ohuira-Topolobampo < Mazatlán << Guaymas.

Cadmium, copper and lead in sediments from Guaymas Bay sediment and cadmium in those from the other three studied zones might produce adverse effects into the biota.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Los metales pesados

1.1.1 Generalidades

El término metal define a los elementos químicos que son buenos conductores eléctricos y cuya resistencia eléctrica es directamente proporcional a la temperatura absoluta. Además los metales comparten otras propiedades físicas como la alta conductividad térmica, alta densidad, maleabilidad y ductibilidad. Los elementos no metálicos generalmente tienen menor densidad que los metálicos; sin embargo, como una manera de diferenciar a estos últimos se ha utilizado la connotación metal pesado para referirse a aquellos cuya densidad excede de 5 g/cm^3 (Förstner y Wittmann, 1979).

De acuerdo con Venugopal y Luckey (1975), algunos metales son esenciales para la vida cuando un organismo deja de crecer o no completa su ciclo de vida en ausencia de ese elemento, sin embargo, el mismo metal es tóxico cuando su concentración excede los requerimientos para una respuesta nutricional correcta. Por otro lado, existen metales que no se consideran esenciales cuando no se ha identificado que sirva para alguna función biológica benéfica (Baccini y Roberts, 1976) (Fig. 1.1). Munawar *et al.* (1996) observaron que la sobrevivencia de especímenes de *Lumbriculus variegatus*, *Hyalella azteca* y *Diporeia hoyi* presentó una correlación altamente significativa en forma inversa con la concentración de Cd, Cu, Fe, Pb y Zn en sedimentos del Puerto de Hamilton en el Lago Ontario.

La toxicidad de los metales no solamente depende de su concentración en el medio o en los organismos, sino que está influenciada por otros factores como la forma química en la que se presente el elemento, así como por las condiciones ambientales a las que este sujeto (pH, temperatura, salinidad, Eh; en su caso, tipo de sedimento, etc.).

A diferencia de otros contaminantes, los metales pesados también pueden existir en los diferentes ambientes de forma natural. Las fuentes de aporte de estos elementos son (Förstner y Wittmann, 1979): (1) intemperismo geológico, (2) industria metalúrgica, (3) empleo de los metales en diversas industrias (producción de fertilizantes, textil, azucarera, etc.) (Tabla 1.1), (4) lixiviación a partir de descargas de desechos sólidos, y (5) excreciones humanas y de animales.

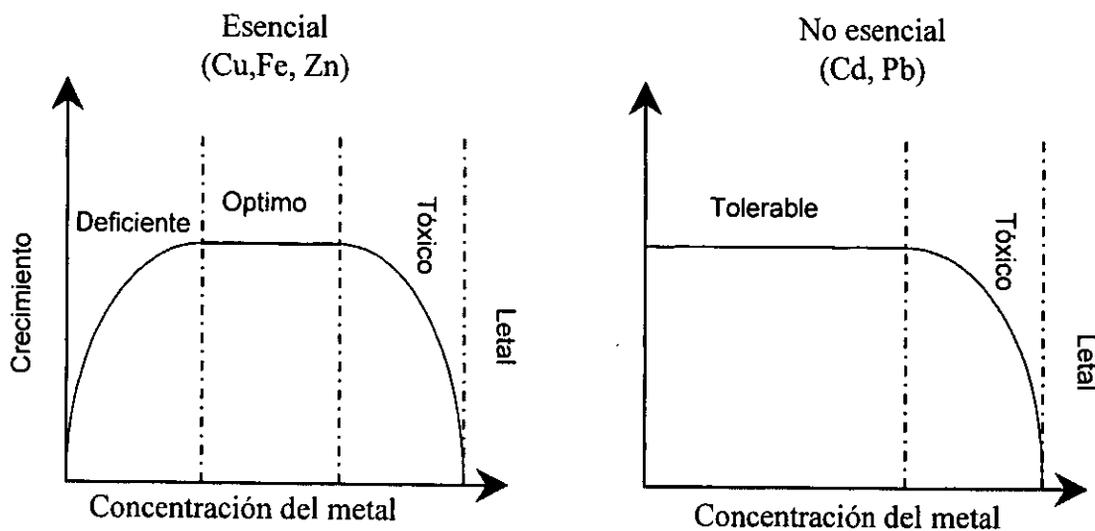


Fig. 1.1 Deficiencia y sobrealimentación de elementos esenciales y no esenciales (Baccini y Roberts, 1996).

Se han realizado diversos intentos por relacionar la concentración de los metales en los sedimentos y su toxicidad potencial (Long *et al.*, 1995; Smith *et al.*, 1996), proponiendo valores de contenido de estos elementos en el material sedimentario para los cuales se ha observado que algunos organismos expuestos presentan algún efecto.

Durante algunos años, la investigación sobre la calidad del agua en relación con los metales se había enfocado únicamente al análisis de muestras de agua. Sin embargo, generalmente, la concentración de estos elementos es mucho mayor en los sedimentos que en la columna de agua, por lo que la distribución, transporte y disponibilidad de

estos constituyentes no puede ser evaluada solamente a través del análisis de la fase disuelta.

Tabla 1.1.- Uso de algunos metales pesados en las principales industrias. (Resumido de Förstner y Wittmann, 1979).

	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Industria papelera		X	X			X	X	X
Petroquímica y productos Químicos orgánicos	X	X		X			X	X
Productos químicos inorgánicos, Álcalis y cloro	X	X		X			X	X
Refinerías de Petróleo	X	X	X	X		X	X	X
Fundidoras de Acero	X	X	X	X		X	X	X
Termoeléctricas		X						X
Cementeras		X						
Fertilizantes	X	X	X	X	X	X	X	X

Horowitz (1991) menciona cinco razones que considera importantes para la inclusión del estudio de los sedimentos en la evaluación de la calidad del agua, dado que estos pueden actuar como depósito para muchos metales:

1. La determinación de la concentración básica de los metales en los sedimentos, al tener la oportunidad de observar el comportamiento del contenido de los metales varios años atrás, debido a la existencia de un registro histórico, cuando el ambiente de depósito de los sedimentos ha sido estable y no hay ningún tipo de perturbaciones.

2. Debido a los cambios en las condiciones ambientales (pH, Eh, actividad bacteriana, etc.), los metales pueden ser liberados a partir de los sedimentos hacia la columna de agua y estar más disponibles para la biota.
3. Algunos constituyentes inorgánicos relativamente inertes o no nocivos ambientalmente pueden degradarse, o reaccionar con otros, generando las formas solubles y potencialmente más tóxicas (e.g. la conversión de mercurio elemental a metilmercurio; o arsenopirita a arsénico asociado a óxidos de hierro; etc.).
4. Los sedimentos de fondo son una fuente importante de sedimentos suspendidos, por lo que pueden ser utilizados para determinar el transporte potencial de los metales a lo largo de un ecosistema.
5. Finalmente, el análisis químico de los sedimentos puede proveer información geoquímica regional fundamental para identificar efectos ambientales potenciales provocados por fuentes de contaminación puntuales y no puntuales.

Estudios relativos al intemperismo en las cuencas de drenaje han mostrado que la tasa de pérdida de metales pesados depende de la mineralogía, la fisiografía de la cuenca, el clima y la naturaleza de la cobertura vegetal (Rosales-Hoz *et al.*, 1994). La capacidad de intercambio catiónico de los minerales arcillosos es gobernada por uniones químicas rotas alrededor de los extremos del grano mineral, la sustitución de Al^{+3} por Si^{+4} con el consiguiente desbalance de carga negativa y la presencia de capas expandibles (Grim, 1968). Por su parte, Jenne (1976) sugiere que el principal papel de los minerales arcillosos como concentradores de metales es actuar como un sustrato mecánico para la precipitación y floculación de materia orgánica y minerales secundarios (hidróxidos de Fe y Mn). Es decir, que los minerales arcillosos están ligados con materiales que, más que el mineral mismo, atrapan a los metales.

El tamaño de las partículas del sedimento y su distribución están principalmente influenciados por los procesos físicos que actúan durante el transporte y la depositación

del material sedimentario. En relación con los metales pesados, se ha observado un incremento general de la concentración de estos con la disminución del tamaño de la partícula (e.g. Voutsinou-Taliadouri y Varnavas, 1995; Green-Ruiz, 1996). Sin embargo se observa un incremento de las concentraciones en sedimentos de la fracción $> 62 \mu\text{m}$ que está determinado por los minerales detríticos ricos en metales pesados y una relativamente baja concentración en las partículas $< 2 \mu\text{m}$, explicada mediante una reducción en el potencial de adsorción de sustancias amorfas o parcialmente menos cristalinas (Förstner y Wittmann, 1979). Las arcillas en los suelos adsorben tanto elementos mayores como traza ($< 1 \text{ ppm}$ de concentración), los cuales se presentan en forma natural o mediante la introducción provocada por las actividades antropogénicas. Posteriormente, las arcillas son removidas debido a la erosión de los suelos y transportadas hacia las cuencas receptoras (e.g. Jackson y Lim, 1981; El Sayed *et al.*, 1988).

Algunos materiales orgánicos, tales como el ácido húmico, adsorben y absorben los metales para formar complejos quelatados. Los ligandos orgánicos de bajo peso molecular, no necesariamente de origen húmico, pueden formar complejos solubles con los metales y evitar que sean adsorbidos o precipitados (Alloway, 1990). Diversos autores han encontrado una relación directa entre la concentración de carbono orgánico y el contenido de algunos metales pesados (e. g. Páez-Osuna *et al.*, 1984; Hamouda y Wilson, 1989).

1.1.2 Investigación sobre metales en sedimentos costeros

La creciente preocupación a nivel mundial sobre el comportamiento de contaminantes en el medio marino y costero ha provocado que los estudios sobre este tópico se hayan incrementado en las últimas décadas, realizándose investigaciones relativas a los metales pesados alrededor del mundo. Sin embargo, la mayoría de los estudios relativos a los metales pesados en puertos han sido llevados a cabo en Europa y Norte América donde junto con las descargas urbanas, usualmente se reciben metales de fuentes industriales y actividad naviera (e. g. Senten y Charlier, 1984; Petrie y Yeats, 1990);

existiendo un número limitado de investigaciones en la zona tropical y subtropical, donde debido a la ausencia de una industrialización intensa, la posibilidad de tener grandes cantidades de metales tóxicos es baja (Gibbs y Guerra, 1997).

Hamouda y Wilson (1989), efectuaron una investigación para medir los contenidos y distribución de Cu, Zn, Cd, Ni y Mn, en sedimentos superficiales de la Bahía de Benghazi, Libia. Los resultados muestran que de los sitios examinados, sólo la región portuaria presentó niveles relativamente altos, particularmente en el caso de cadmio y cobre, indicando un aporte antropogénico. Los intervalos de concentración fueron 1.03-1.96 % de contenido orgánico; 8.7-42 ppm de Cu; 2.3-27.3 ppm de Zn; 5.7-19 ppm de Ni; 37-76.7 ppm de Mn; y abajo del límite de detección hasta 1.73 ppm de Cd.

Por otro lado, Samant *et al.* (1990), llevaron a cabo experimentos en el laboratorio para estudiar la partición y biodisponibilidad de metales pesados presentes en sedimentos contaminados del puerto de New Brunswick, Canadá. Los datos obtenidos indican que los metales asociados con hidróxidos de hierro y manganeso y la fracción residual son los dominantes en los sedimentos.

Gibbs (1993) obtuvo sedimentos del puerto de Townsville, Australia, para determinarles las concentraciones biodisponibles de Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sn y Zn. Tres de las siete muestras presentaron factores de enriquecimiento con respecto al promedio en suelo de 25-30 para Cd, 5-71 para Cu, 21-81 para Pb y 13-27 para Zn; las otras cuatro solamente mostraron un factor de enriquecimiento de 2-7 para Cd, Pb y Zn.

Con el fin de evaluar el impacto provocado por la explosión demográfica e industrial en el Puerto de Suva, Fiji, Naidu y Morrison (1994) analizaron los sedimentos de dos localidades, una cercana al emisor de aguas municipales y la otra a una fábrica de acumuladores, observando en ambas zonas concentraciones anómalas de metales pesados.

Mayer y Johnson (1994) colectaron dos núcleos sedimentarios del Puerto de Hamilton,

Canadá, para determinarles sus concentraciones de materia orgánica, metales pesados y fósforo. Los núcleos fueron fechados con ^{210}Pb para interpretar las condiciones paleoambientales en el puerto. Se detectó una reducción en la concentración de los metales como un reflejo de una respuesta positiva de los sedimentos a la disminución de las cargas metálicas hacia la zona portuaria, así como un cambio en las tasas de sedimentación en ambos núcleos, correspondiendo a 189 y 142 mg cm^{-2} por año a finales del siglo pasado y a 38 y 97 mg cm^{-2} por año, respectivamente, en años recientes.

Angelidis y Aloupi (1995) cuantificaron la concentración de Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn en sedimentos superficiales del puerto de Rodas, Grecia, siguiendo una extracción suave (HCl 0.5 N), observando un enriquecimiento alto de los metales relacionados con las actividades humanas (Cu, Pb y Zn), principalmente asociado con sedimentos finos localizados en el área del emisor principal de aguas municipales.

Gray (1996) midió el contenido de 12 metales en sedimentos de una región cercana a Sidney, Australia, cada seis meses durante tres años, con la finalidad de monitorear el impacto producido por la puesta en funcionamiento de tres emisores de aguas municipales con una descarga total de 1300 ML por día, encontrando que los valores obtenidos por él fueron menores a los niveles considerados por diferentes lineamientos de calidad de los sedimentos como potenciales para causar efectos biológicos dañinos.

Gibbs y Guerra (1997) determinaron las concentraciones de la fracción biodisponible de Cd, Cr, Cu, Pb, y Zn en sedimentos del puerto de Belice, utilizando ácidos nítrico y clorhídrico diluidos, y las compararon con diversos criterios químicos, geoquímicos y ecológicos para sedimentos considerados no contaminados, encontrando que su zona de estudio tiene problemas ambientales relacionados con dichos metales, ya que las concentraciones medidas sobrepasaron los límites o valores base para todos los criterios.

Bothner *et al.* (1998) encontraron un decremento en el contenido de Pb (hasta 46 %),

Cr, Cu, Hg, Ag y Zn durante el período 1977-1993 en el puerto de Boston, como resultado de (1) interrupción de la descarga de aguas residuales hacia el puerto en 1991; (2) reducción en las principales fuentes de aporte de estos elementos (cambios en los procesos o clausura de industrias contaminantes); (3) mejoramiento en el tratamiento de aguas residuales; y (4) disminución del uso de Pb en las gasolinas a partir de 1973.

Andrews *et al.* (1999) combinaron un modelo hidrodinámico y la geoquímica sedimentaria para analizar la historia de la contaminación en la bahía de Hunts, en el puerto de Kingston, Jamaica, observando que los patrones de distribución del contenido de Pb y Cr, así como de los factores de enriquecimiento correspondientes, están relacionados geográficamente a la circulación hidrodinámica predicha por el modelo.

Baptista Neto *et al.* (2000) midieron la concentración de Cr, Cu, Ni, Pb y Zn en sedimentos superficiales y de núcleos en Jurujuba Sound, Brazil, observando que los niveles de estos metales en dicha región son similares con aquellos encontrados en ambientes estuarinos urbanizados e industrializados. Como resultado de la descarga incontrolada de aguas municipales sin tratamiento alguno y de las escorrentías urbanas, se presentan algunos enriquecimientos de dichos metales.

Dentro de los antecedentes relacionados con el estudio de los niveles totales de metales en sedimentos en México se tiene los realizados por Rosales Hoz *et al.* (1986a) en sedimentos del sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, quienes encontraron los siguientes niveles (mg/kg) para Mn (107.5-1710), Cu (4.9-32.16), Ni (15.6-143.7), Cr (26.3-626.6), Pb (18.2-39.5), Co (16.7-47.9), Al (1.83-8.7%) y Mn (0.34-18.0%).

Vázquez Botello y Páez-Osuna (1986) determinaron niveles de metales totales y porcentajes biodisponibles para la biota en sedimentos del estuario de Coatzacoalcos, Río Tonalá, Laguna del Ostión y Laguna de Chautengo, en Veracruz. Se encontró que los niveles de Zn, Pb, Cr y Cu son mucho menores a los datos para las regiones de Los Angeles (Lu y Chen, 1977) y Narraganset Bay (Goldberg *et al.*, 1977) en los EUA.

Comparando los resultados entre los cuerpos estudiados se tiene que el contenido de Fe es más alto en los sedimentos de Coatzacoalcos (2.6-8.5%), aun así, sus valores son comparables a los de Laguna Chautengo (Fe, 2-5%), o Laguna del Ostión (Fe, 1-4.1%). Por su parte, el Co existe en concentraciones ligeramente mayores en Laguna del Ostión (40-53 mg/kg, para sedimento arcillo-limoso) que en el estuario de Coatzacoalcos (26 mg/kg), río Tonalá (29 mg/kg) y Laguna de Chautengo (36 mg/kg). Las concentraciones de Ni en los sedimentos se produjeron en orden de mayor a menor como sigue: río Tonalá (11-202 mg/kg), Laguna del Ostión (24-94 mg/kg), Laguna Chautengo (25-61), estuario Coatzacoalcos (21-50 mg/kg). El Ni en el río Tonalá superó también a los sedimentos de la Bahía Narraganset (28 mg/kg) y el puerto de Los Angeles, EUA (20-42.8 mg/kg).

En el área de estudio señalada para este anteproyecto (puerto y antepuerto de Mazatlán, Sinaloa), Osuna-López *et al.* (1986) examinaron los sedimentos superficiales encontrando concentraciones totales de Cd (0.3-1.7 ppm), Co (5.8-24.4 ppm), Cr (10.4-67.1 ppm), Cu (2.5-79.9 ppm), Fe (1.14-5.05%), Ni (15.0-20.2 ppm), Pb (15.1-50.5 ppm) y Zn (34.0-172.2 ppm), variando de acuerdo al sitio y textura de los sedimentos.

En cuanto a trabajos realizados sobre la asociación de los metales en sedimentos se encontró a los efectuados por Alvarez Rivera *et al.* (1986), en sedimentos del río Blanco, en que se determinó la fracción no detrítica (extraído con ácido acético al 25%) y la detrítica (insoluble al ácido acético), la partición química revela que el sedimento esta compuesto por 1.33 a 22.96% de la fracción no detrítica. La cantidad de metales asociados a la fracción no detrítica fue 0-14% del total de Ni, 1.44-21.2% del total de Zn, 0-12.94% del total de Pb, 0.9-13.87% del Co total, 0-28.83% del total de Cd, 6.57-81.1% del Mn total y 0.81-7.76% del total de Fe. Cantidades significantes de Zn, Cd y Mn están contenidas en la fracción no detrítica, mientras que el total de Cu y Cr se les encontró en la fracción detrítica.

En el puerto y antepuerto de Mazatlán, Osuna-López *et al.* (1986) determinaron también las concentraciones biodisponibles de metales, extraídos con ácido acético 20 %,

resultando que el Cd, Co, Pb y Zn presentaron los valores máximos y se asociaron principalmente a carbonatos (7.8%) o al material inorgánico (5.7%).

Carranza-Edwards *et al.* (1988a) estudiaron la presencia de metales de interés comercial en arenas de playa de San Antonio del Mar, B.C., siendo el Fe el elemento con mayor concentración (hasta un 50.47%, en la fracción 3.5 ϕ), seguido por el Ti con un máximo de 14.13% en la fracción 3.25 ϕ . Carranza-Edwards *et al.* (1988b) realizaron también un estudio similar en sedimentos litorales del Estado de Sonora, encontrando que de los doce metales analizados en la fracción 2 a 4 (destacan de nuevo por sus altas concentraciones el Fe, que alcanza hasta un 42.66% y el Ti hasta un 4.68%).

En otro trabajo, Páez-Osuna y Osuna-López (1990a) realizaron extracciones secuenciales (basadas en el método secuencial de Tessier *et al.*, 1979, con adaptación de Meguellati *et al.*, 1983) en sedimentos superficiales del bajo Golfo de California para conocer la participación geoquímica de los metales pesados. Resultó que la mayoría de los metales estuvieron asociados a la fracción litogénica. Se observó que Fe, Cu y Co tienen las concentraciones más elevadas en la fracción reducible que en la oxidable, al contrario que Ni, Cr, Pb y Mn. En la mayoría de las muestras de sedimento el Cd mostró proporciones altas (hasta 100%) en el extracto de peróxido. Páez-Osuna y Osuna-López (1990b) estudiaron también la partición química para el Zn, en las mismas muestras de sedimento, el cual se asocia principalmente a la fracción litogénica, el resto con la fracción de óxidos de Fe-Mn (20.4-25.1%), fracción orgánica/sulfuros varía entre 5.5-13.9%, y el zinc carbonatado presente en las depresiones de las cuencas con 1.5%. Zn intercambiable no se detectó.

Páez-Osuna y Osuna-López (1992), estudiaron la partición geoquímica de metales pesados de dos sitios adyacentes a la boca del Golfo de California (en la depresión principal de la Cuenca de Mazatlán y otro en el Pacífico Oriental pelágico adyacente). Comparando los porcentajes de los metales de cada una de las fracciones químicas de los dos sitios, se tuvo que en área de la Cuenca de Mazatlán predominan en la fracción litogénica el Co (59.1%), Cr (73.8%), Zn (64.1%), Pb (61.7%), Fe (90.8%), Ni (41.1%) y

Mn (44.7%), en el área de la zona pelágica se encontraron asociados a la misma fracción el Cr (80.3%), Zn (55.6%), Pb (70.5%) y Fe (78.9%). La fracción oxidable (asociada con materia orgánica y/o sulfuros) es en proporción la siguiente más importante para el Cu, Cd, Co, Ni, Zn y Mn en el núcleo pelágico, y para el Cd, Pb y Mn para el núcleo de la Cuenca de Mazatlán. En las fracciones intercambiable/adsorbida y carbonatada se tuvieron los menores niveles de concentración de los metales analizados.

Rosales Hoz *et al.* (1994) evaluaron también la concentración de metales en sedimentos del Río Guadalupe y arroyo de San Antonio, Baja California, determinándose las siguientes concentraciones: 10 a 20 ppm para Cu, 10 ppm para Cd, 30 a 140 ppm para Zn, 30 a 40 ppm de Ni, de no-detectado a 150 ppm de Cr. Estos resultados están dentro de los límites establecidos para suelos no contaminados, con la excepción de Cr cuyo límite máximo permitido es de 75 a 100 ppm en Suiza y Alemania, respectivamente (Morgan, 1991).

Soto-Jiménez (1998) determinó la concentración de metales en sedimentos del estero de Urías y la zona adyacente al emisor de aguas municipales de la Ciudad de Mazatlán, observando que la zona portuaria presentó los mayores factores de enriquecimiento (FE) de Ag, Cd y Pb (> 6), seguido del estero del infiernillo ($4 < FE < 6$) y del área del emisor con factores de enriquecimiento entre 2 y 4.

Con la finalidad de evaluar el grado de contaminación por metales en los sedimentos del Río Coatzacoalcos, Rosales-Hoz y Carranza-Edwards (1998) midieron las concentraciones total y no residual, encontrando los valores más bajos de contenido de metales en la zona río arriba, aproximadamente 120 km tierra adentro de la desembocadura del río en el mar; en tanto que las máximas concentraciones se ubicaron en la unión del arroyo Teapa con el río Coatzacoalcos, cerca de la desembocadura. En esta zona existen descargas industriales.

Villaescusa-Celaya *et al.* (2000), determinaron la concentración de metales pesados en

sedimentos de la región fronteriza entre Punta Bandera en Tijuana, B. C. y Point Loma en San Diego, Cal., encontrando los siguientes intervalos de concentración (ppm): Ag, 0.01-0.28; Cd, 0.08-0.64; Cr, 56-802; Cu, 4.9-23; Mn, 392-1506; Ni, 16-44; Pb, 6-21; y Zn, 39-188; en tanto que el contenido (%) de Al y Fe fue de 3.61-8.55 y 1.36-4.6, respectivamente. También observaron un enriquecimiento relativo de Cr (> 3000%), Zn (> 350 %), Ni (> 300 %) y Cu (> 150 %), en la zona adyacente al emisor de aguas municipales en Punta Bandera, con respecto a sedimentos no contaminados de la misma región.

De acuerdo con Schropp y Windom (1988), dos de los aspectos principales a tratar cuando se desarrollan temas relacionados con el contenido de metales en sedimentos son: (1) diferenciar entre la proporción de la concentración de dichos elementos atribuible al aporte natural y la correspondiente a las actividades humanas, y (2) determinar si los metales en los sedimentos están potencialmente disponibles para reciclarse en la columna de agua o a través de la cadena alimenticia. Estos dos tópicos serán tratados en los siguientes subcapítulos.

1.1.3 Métodos de normalización y criterios para definir enriquecimientos metálicos

A diferencia de otros contaminantes, como los pesticidas, las fuentes de aporte de metales hacia los ecosistemas pueden ser naturales y antropogénicas, e independientemente de su origen, estos elementos se acumulan juntos y están expuestos a los mismos procesos geoquímicos. Por lo tanto, para diferenciar la proporción de la concentración de los metales que proviene de ambos tipos de fuentes, es necesario el uso de herramientas de normalización. Asimismo, se han utilizado diversos procedimientos para reducir la variabilidad de la concentración de metales pesados causada por la diferencia del tamaño de las partículas sedimentarias y su composición mineralógica y para identificar contribuciones anómalas de los metales.

Estas técnicas involucran el empleo de elementos considerados conservativos tales como Al (Schoer *et al.* 1982; Din, 1992; Szefer *et al.*, 1995; Szefer *et al.*, 1996;

Summers *et al.*, 1996; Green-Ruiz, 1996), Li (Loring, 1990; Green-Ruiz, 1996), Sc (Ackermann, 1980), and Fe (Tam y Yao, 1998; Baptista Neto *et al.*, 2000). La elección del elemento conservativo no es universal y depende principalmente de las características geoquímicas del área de estudio y de las actividades humanas involucradas, sin embargo, dicho elemento deberá ser un constituyente importante de uno o más de los componentes con los que los metales estén asociados y reflejar la variabilidad del tamaño de grano de los sedimentos (Loring, 1990). Por ejemplo, el aluminio es uno de los metales que se han usado con más frecuencia como elemento conservativo y es un constituyente importante de la fracción mineral aluminosilicatada; sin embargo, Loring (1990) ha observado que el litio es mejor normalizador que el aluminio si se trabaja con sedimentos derivados principalmente de la erosión glacial de rocas cristalinas, y es similar cuando se analizan rocas no cristalinas.

Uno de los procedimientos de normalización es el sugerido por Szefer *et al.* (1995) y Szefer *et al.* (1996) el cual consiste en efectuar un análisis de regresión lineal entre un metal dado y el elemento elegido como conservativo y graficar junto con la línea de regresión las líneas correspondientes a dos veces la desviación estándar, considerando que los valores que se localizan dentro de este intervalo definen la población geoquímica natural, dado que existe el 95 % de probabilidad que dichos valores pertenezcan a la población normal (Motulky, 1995), en tanto que aquellos puntos por arriba de dicho intervalo, son considerados como una población anómala.

Otro criterio es el utilizado por Summers *et al.* (1996), quienes sugieren eliminar del conjunto de datos a todos aquellos que sean superiores a las concentraciones que causan efectos de bajo (ERL) o de medio rango (ERM), definidas en los lineamientos para calidad del sedimento propuestos por Long *et al.* (1995), antes de llevar a cabo un análisis de regresión, después del cual los valores fuera del intervalo de confianza del 95 % son eliminados para asegurar que cualquier relación estadística observada entre el metal en cuestión y el elemento conservativo este basada únicamente en concentraciones naturales. Posteriormente se realiza una segunda regresión y una vez que se elabora la gráfica, se incluyen todos los puntos omitidos previamente. Todos los

puntos por arriba de la línea correspondiente al 95 % de confianza son considerados enriquecidos con el metal. Esta técnica es sumamente estricta y en ocasiones puede llegar a considerar que mas del 85 % de los datos son anómalos, sin que esto sea necesariamente compatible con lo observado al utilizar otros criterios (Green-Ruiz y Páez-Osuna, sometido). Además, el empleo de los lineamientos mencionados (e.g. ERL y ERM) es cuestionable si el área de estudio presenta características geoquímicas o fisico-químicas diferentes a las correspondientes de la región para la cual fueron propuestos, o si existe variación entre el tipo de organismo para los cuales fueron sugeridos dichos lineamientos y los que se presenten en cada zona de estudio.

Algunos procedimientos de normalización involucran el análisis de fracciones granulométricas tales como $< 63 \mu\text{m}$ (Ackermann *et al.*, 1983, Villaescusa-Celaya *et al.*, 2000), $< 20 \mu\text{m}$ (Ackermann, 1980), $< 16 \mu\text{m}$ (De Groot, 1964), o $< 2 \mu\text{m}$ (Schoer *et al.* 1982; Irion y Muller, 1987). Sin embargo, la información obtenida es incompleta debido a que no refleja la composición del total de la masa sedimentaria.

De acuerdo con Luoma (1990), la normalización geoquímica o granulométrica de los datos puede estar acompañada por el calculo de factores de enriquecimiento (FE) relativos a las concentraciones de metales observadas en la corteza terrestre o a valores de referencia regionales (Green-Ruiz, 1996), asumiéndose que las relaciones entre los diferentes metales y los elementos conservativos son relativamente constantes durante los procesos naturales a los que están expuestos los sedimentos (Schropp *et al.*, 1990). De esta forma, algunos autores (Forstner y Wittmann, 1979; Luoma, 1990; Covelli y Fontolan, 1997; Soto-Jiménez, 1998) han utilizado la relación sugerida por Buat-Ménard (1979), consistente en dividir la relación de las concentraciones del metal analizado y del elemento conservativo en la muestra de sedimento, entre la misma relación utilizando las concentraciones promedio de la corteza terrestre o valores de referencia obtenidos a partir de material obtenido en zonas pristinas de la región (Baptista Neto *et al.*, 2000).

Por su parte, Villaescusa-Celaya *et al.* (2000) emplean como factor de enriquecimiento

la relación entre la concentración de un metal dado en el sedimento analizado y la concentración de ese mismo metal en un material de referencia, restándole la unidad y multiplicando por cien. De acuerdo a esta ecuación, un factor de cero indica que el contenido de metal del sedimento estudiado es igual al de la referencia. Valores positivos indican enriquecimiento (dado en porcentaje) del metal en la muestra con respecto al valor de referencia.

Similarmente, Muller (1979) evaluó el grado de contaminación por metales en sedimentos empleando una clasificación con siete diferentes clases de acuerdo con el valor numérico del índice de geoacumulación, el cual es el logaritmo base dos de la relación entre la concentración del metal en el sedimento y en un material de referencia. Este último multiplicado por un factor de 1.5 para incorporar posibles diferencias en los valores de referencia debidas a variaciones litológicas.

1.1.4 Estimación de la biodisponibilidad potencial de los metales

Debido a que los sedimentos constituyen un excelente material para el depósito de metales, es importante conocer la disponibilidad potencial de estos elementos para los organismos, es decir su biodisponibilidad. De acuerdo con Odum y de La Cruz (1967) y Odum (1980), citados por Luoma y Davis (1983), en la mayoría de los estuarios, el principal flujo de energía desde los productores primarios hacia los organismos consumidores es a través de la cadena alimenticia detritica; es decir, que estos últimos pueden ingerir partículas ricas en metales y transferirlos a niveles tróficos superiores. Muchos organismos detritívoros, los cuales viven sobre el sedimento, usan sifones para ingerir partículas desde la superficie sedimentaria. Otros, tienen tubos o madrigueras y reciclan agua y partículas a partir de la superficie (Coull, 1977). La epifauna está expuesta directamente a condiciones propias de la interfase agua-sedimento, y muchos depredadores obtienen sus presas desde o cerca de dicha interfase, ingiriendo simultáneamente partículas superficiales oxidadas con cierto contenido de elementos metálicos (Luoma y Davis, 1983).

Por otra parte, es necesario entender que los daños provocados por el aporte de metales pesados hacia los ecosistemas no están únicamente determinados por la cantidad de metal aportado, sino que existen procesos biogeoquímicos que pueden influir en la disponibilidad de dichos elementos para la biota (Luoma, 1983). La biodisponibilidad de los metales pesados puede estar controlada, por lo menos, por cuatro factores generales (Jenne y Luoma, 1977): (1) las características fisiológicas y ecológicas del organismo, (2) las formas químicas en que están presentes los elementos metálicos disueltos, (3) las formas químicas de los metales en los sedimentos ingeridos, y (4) las características fisico-químicas del agua.

La medición de la concentración total de los metales en los sedimentos es una manera poco eficaz para evaluar la disponibilidad potencial de un elemento dado para la biota, en general, o para un organismo, en particular (Loring, 1981), siendo importante considerar la proporción reactiva que está ligeramente ligada en un sentido físico y químico a las partículas orgánicas e inorgánicas, las cuales están presentes en los sedimentos.

Dado lo anterior, en los últimos años se han utilizado diversas técnicas que pretenden evaluar la fracción biodisponible de los metales pesados a partir de los sedimentos (Luoma y Jenne, 1976; Luoma y Bryan, 1981; Szefer *et al.*, 1995; Cook *et al.*, 1997). En la mayoría de los casos, los autores han encontrado ciertos grados de variación en la selectividad de los diferentes extractantes empleados, por lo que se ha reconocido que no se puede predecir con precisión la biodisponibilidad exacta de un elemento dado, sobre un organismo en particular (Loring, 1981). Sin embargo, se ha aceptado definir operacionalmente la fracción biodisponible mediante el empleo de reactivos débiles que pongan en suspensión únicamente la proporción de los metales que está ligeramente vinculada a las partículas sedimentarias (e. g. adsorbidos en los carbonatos, compuestos amorfos de Fe y Mn fácilmente solubles, aquellos que están en las posiciones de intercambio iónico y los que están débilmente ligados a la materia orgánica).

1.2 La actividad portuaria

Los Estados Unidos Mexicanos poseen aproximadamente 11 500 km de litorales, a lo largo de los cuales se han desarrollado importantes ciudades costeras que han impulsado la actividad portuaria, como un vínculo para la comunicación tanto nacional como internacional; siendo, por tanto, un factor integrador de las actividades económicas. Dicha actividad conlleva, además del intenso tráfico marítimo en un área reducida, al establecimiento de una variedad de industrias que giran a su alrededor, como son las bodegas de almacenamiento de materias primas, las plantas empacadoras de productos y subproductos marinos (atún, sardina, camarón, harina de pescado), los astilleros, las instalaciones de recepción, distribución y almacenamiento de hidrocarburos (gasolinas, diesel y combustóleo), etc. Asimismo, es común que las plantas generadoras de energía eléctrica (termoeléctricas) se localicen en la zona adyacente a los muelles de abastecimiento de hidrocarburos, dada la necesidad de contar con el suministro directo de combustóleo.

Por otro lado, algunos de estos puertos se ubican en o están asociados con lagunas costeras, las cuales juegan un papel importante en el ciclo de vida de especies marinas y continentales de considerable valor ecológico y/o comercial, además de ser atractivas turísticamente. Por esta razón es fundamental conocer las fuentes de los contaminantes que son aportados a estos sistemas costeros, y los procesos que intervienen en su distribución y dinámica. Los asentamientos humanos, aunados a las mencionadas actividades de desarrollo, generan contaminantes que son vertidos a estos cuerpos de agua, dañando la calidad de los recursos marinos e imponiendo riesgos significativos a la salud ambiental, e incluso a la humana.

En México, y desde luego en el noroeste, muchas de las cuencas de drenaje de los ecosistemas lagunares también están experimentando los efectos de la expansión industrial, acuícola y agrícola, además del crecimiento acelerado de la población. Además, una proporción significativa de la población depende de los recursos lagunares, ya sea para su alimentación o para aprovecharlos como atractivos turísticos. Una gran variedad

de hábitats ocurren en los sistemas lagunares, incluyendo los manglares, marismas, lagunas interiores, sistemas de agua dulce y salobre, donde hay una rica y compleja cadena alimenticia (Flores-Verdugo *et al.*, 1996; Páez-Osuna *et al.*, 1998). La influencia de los aportes antropogénicos de metales y otros contaminantes es compleja en estos hábitats y podría resultar en cambios de su estabilidad ecológica.

1.3 Generalidades de las áreas de estudio

El Golfo de California se sitúa en la porción noroeste de México, limitado por las costas de los Estados de Baja California y Baja California Sur al oeste y de Sonora y Sinaloa al este, recibiendo el aporte de sedimentos de ambos litorales. En cuanto a su origen, esta cuenca es el resultado de los movimientos tectónicos provocados por la acreción del suelo oceánico y la formación del Sistema de Fallas San Andrés, dando como resultado una plataforma continental muy estrecha en la costa oriental de la Península de Baja California (a excepción de la porción norte, donde la plataforma está bien desarrollada debido al aporte de sedimentos por el Río Colorado), y una plataforma amplia probablemente de carácter deposicional y con talud moderado en los litorales de Sonora y Sinaloa (Carranza-Edwards *et al.*, 1975).

A lo largo de la costa de los estados que colindan con el Golfo de California, se llevan a cabo diversas actividades económicas, destacando las ciudades de Mazatlán y Topolobampo (aledaña a Los Mochis), en Sinaloa; Guaymas en Sonora y La Paz, en Baja California Sur, en donde se concentran las actividades dado su carácter de puertos. De esta manera, el abastecimiento de hidrocarburos hacia la zona noroeste de país (Sonora y Sinaloa) y Sur de la península de Baja California, se realiza a través de los muelles que PEMEX tiene en estos cuatro puertos. Debido al uso de combustóleo en el proceso de generación de energía eléctrica, adyacentes a estos muelles se ubican las plantas termoeléctricas que dan servicio a la región. Por otro lado, existen rutas de transbordadores de pasajeros y carga que comunican la península con la parte continental. Asimismo, la actividad portuaria en estas ciudades ha provocado el establecimiento de industrias relacionadas al manejo, almacenamiento y transformación

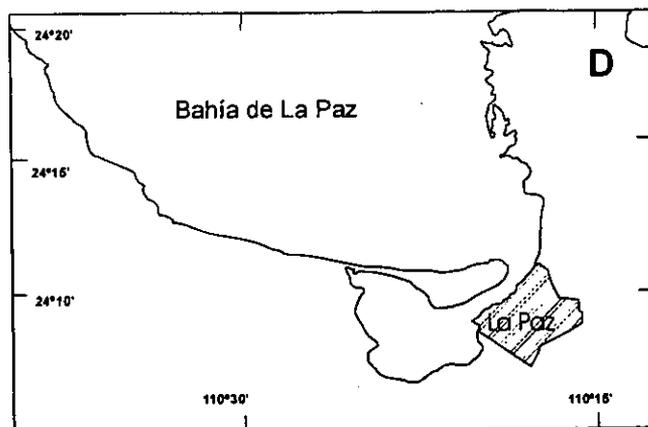
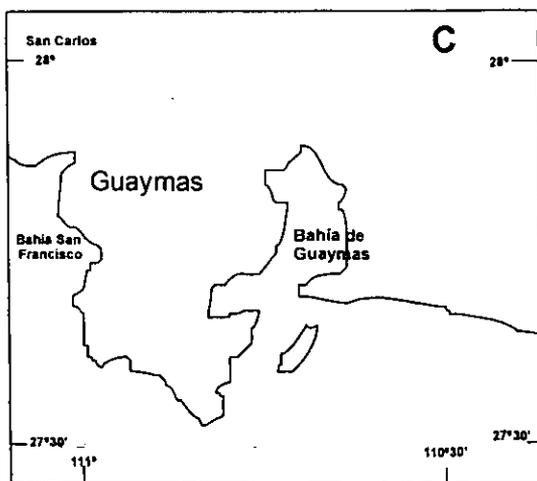
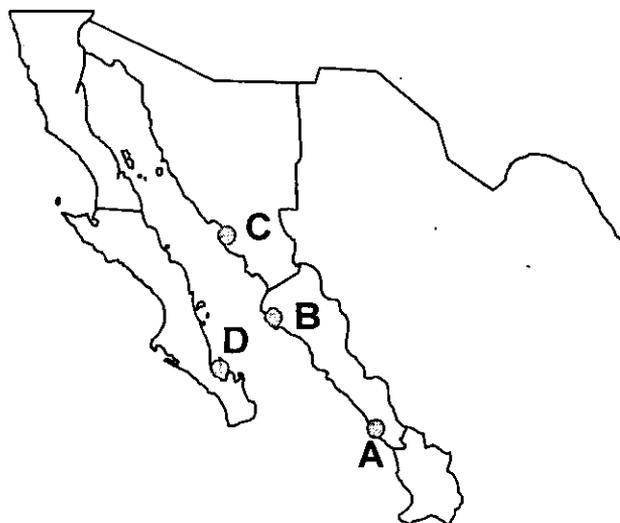
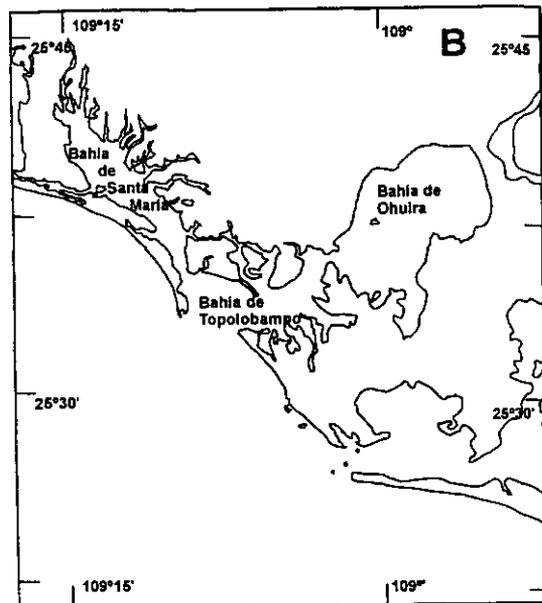
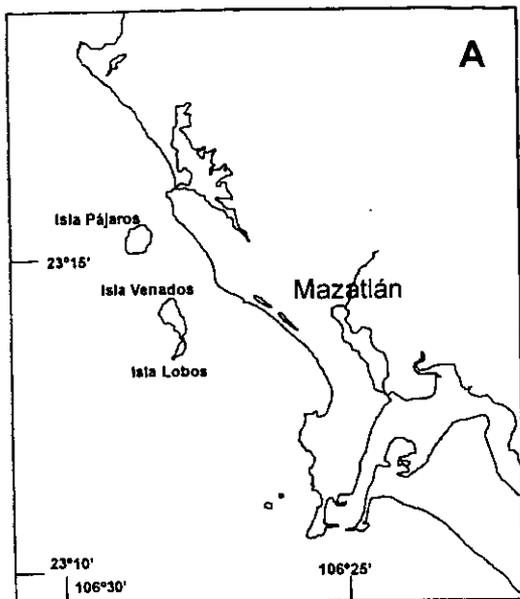


Fig. 1.2.- Zonas de estudio en el Golfo de California. A) Bahía de Mazatlán, B) Bahías de Ohuira y Topolobampo, C) Bahía de Guaymas y D) Laguna de La Paz y región adyacente de la Bahía de La Paz.

de los productos que son transportados hacia o desde estos puertos.

1.3.1 Bahía de Mazatlán, Sinaloa.

Localización

La zona de estudio aledaña a la ciudad y puerto de Mazatlán, Sinaloa, se encuentra localizada en la boca del Golfo de California entre los 23° 09' y 23° 17' de latitud Norte y los 106° 22' y 106° 30' de longitud Oeste (Fig. 1.2). La Bahía de Mazatlán posee un área aproximada de 35 km² a lo largo de la plataforma continental (Méndez y Green, 1998), con su límite norte en la Isla de Pájaros y sur en el Cerro del Crestón. La península denominada Isla de la Piedra, ubicada al sur de la zona de estudio, es una barrera arenosa de 16 km de largo, limitada por el estero de Urías al noreste, el río Presidio al sur y por el Golfo de California al suroeste (Montaño Ley, 1985).

Clima

El clima de la región de acuerdo a la clasificación modificada de Köppen (García, 1973) es Aw(w)(e)cálido subhúmedo con lluvias en verano y menor al 5 % de lluvia invernal, extremoso con una oscilación térmica entre 7 y 14 °C. En la estación climatológica 25-031 que se encuentra en Mazatlán, la temperatura promedio anual es de 24.1 °C con la máxima en agosto, mientras que la precipitación media anual de 800.3 mm, siendo el mes más lluvioso septiembre (Anónimo, 1970). La temperatura promedio anual oscila entre los 24° y 34°C en el área de transición climática determinada por el Trópico de Cáncer (Contreras, 1985).

Marco geológico y fisiográfico

De acuerdo con Fredrickson (1974), la Bahía de Mazatlán formó parte de un gran centro eruptivo comprendido entre las cuencas de drenaje de los ríos Elota, Piaxtla, Presidio y Pánuco. Según este autor, la islas al oeste de la bahía, la península formada

por los cerros Nevería, Vigía y Crestón, así como la parte norte de la Isla de la Piedra, son bloques de rocas volcánicas; la parte central de la ciudad está construida sobre una colina de andesita porfídica que intrusionó y metamorfizó las rocas volcánicas adyacentes.

De acuerdo con Carranza-Edwards *et al.* (1975), el área de la Bahía de Mazatlán y el Estero de Urías corresponden a la Unidad Morfotectónica VII, la cual incluye a las costas primarias generadas por depositación subaérea. Formando parte de la provincia fisiográfica de la llanura costera de Sinaloa (Alvarez, 1962). Siguiendo el criterio de Lankford (1977), el estero de Urías corresponde a una laguna costera de boca permanente por la orientación semiparalela a la costa, y la clasifica como una laguna costera de plataforma interna con barrera (Tipo III) en base a su origen y patrón de desarrollo geológico.

Sistema hidrológico

El aporte de agua dulce directamente a la bahía proveniente de ríos o arroyos es prácticamente nulo. Este cuerpo de agua se localiza entre las desembocaduras de los ríos Piaxtla, al norte y Presidio al sur, los cuales son fuentes indirectas del material transportado por las corrientes litorales. En lo que respecta al estero de Urías, este cuerpo de agua recibe el escurrimiento de un complejo sistema de esteros (Confites, Barrón, Cacafé, etc.) en su parte meridional, temporalmente en la época de lluvias (Páez-Osuna *et al.* 1990).

No existen estudios detallados de las corrientes marinas en la Bahía de Mazatlán. Sin embargo, algunos autores han observado cambios estacionales en la dirección de las corrientes los cuales dependen principalmente de la dirección del viento y la geomorfología de la costa. Cabrera-Dueñas (1988) propuso un modelo que describe las variaciones de las corrientes en la bahía en función de cambios en los vientos. Roden (1958) observó una corriente predominante en dirección noroeste durante la temporada invierno-primavera y sureste en verano-otoño. Asimismo, Alonso-Rodríguez *et al.*

(2000) mencionan que de acuerdo con Mee *et al.* (1984), la Bahía de Mazatlán está influenciada durante el verano, por las aguas tropicales provenientes del sur, y durante el invierno, por surgencias esporádicas inducidas por el viento.

Actividades antropogénicas

Debido a su carácter como polo turístico, a lo largo de la Bahía de Mazatlán se localiza una de las zonas hoteleras más grandes del país. Muchos de estos hoteles están ubicados prácticamente al pie de la playa y algunos poseen descargas de agua "semilimpias" directamente al mar. En la zona sur de la bahía se encuentra el emisor de aguas municipales de la Ciudad de Mazatlán, el cual descarga, dependiendo de la estación, hasta 2000 l s^{-1} , (Tabla 1.2) correspondientes a 380-450 mil habitantes, aproximadamente (Alonso-Rodríguez *et al.*, 2000), presentándose un incremento en la frecuencia de mareas rojas en los últimos 20 años (Cortés-Altamirano *et al.*, 1999) y la boca del estero de Urías, donde se realiza la principal actividad portuaria, junto con otras posibles fuentes de contaminantes como son las empacadoras de atún y camarón; una harinera; los muelles de PEMEX, de los transbordadores, de los barcos turísticos y de la flota pesquera; la termoeléctrica; los astilleros y una granja camaronícola (Tabla 1.3).

Tabla 1.2.- Características del emisor de aguas municipales de la Ciudad de Mazatlán (Alonso-Rodríguez *et al.*, 2000).

Tratamiento	Primario
Longitud (m)	700
Longitud del difusor (m)	150
Capacidad (l s^{-1})	650
Descarga (l s^{-1})	1500 – 2000
Tiempo de operación (años)	14

Tabla 1.3.- Estimación de la población asociada a los puertos de Mazatlán y Ohuira-Topolobampo, Sin.; Guaymas, Son. y La Paz, B. C. S.; el área y volumen de los cuerpos de agua y actividades más relevantes que se llevan a cabo en dichos puertos.

Cuerpo de agua	Numero de habitantes	Area (Km ²)	Volumen (Km ³)	Tipo de actividad
Bahía de Mazatlán	450 000	90	1.35	Pesquería, portuaria, turismo
Estero de Urías		12	0.036	Pesquería, industrial, portuaria, descargas urbanas, generación de energía eléctrica, camaronicultura
Laguna de Ohuira Topolobampo	198000*	185	0.359 (Ohuira)	Pesquería, industrial, portuaria, descargas urbanas, generación de energía eléctrica, agricultura
Bahía de Guaymas	150 000	28	0.093	Pesquería, industrial, portuaria, descargas urbanas, generación de energía eléctrica, cementera
Bahía de La Paz	150 000	50	0.145	Pesquería, portuaria, turismo, descargas urbanas, minería

*Incluida la población de Los Mochis.

1.3.2 Las Bahías de Ohuira y Topolobampo, Sinaloa.

Localización

El sistema lagunar Ohuira-Topolobampo se localiza en costa norte del Estado de Sinaloa, entre los paralelos 25° 30' y 25° 42' de latitud Norte y los meridianos 108° 54' y 109° 09' de longitud oeste (Fig. 1.2). La Bahía de Topolobampo es una laguna costera

de 60 km² conectada con el Golfo de California a través de una boca de aproximadamente 3 km de largo. Este cuerpo de agua recibe los efluentes urbanos e industriales generados en el puerto del mismo nombre. La Bahía de Ohuira es una laguna somera de 125 km² conectada con la Bahía de Topolobampo a través de un canal (Anónimo, 1986 y 1997).

Clima

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1973), el clima de esta zona es del tipo BW(h')hw(e), lo que significa que el área es muy seca, cálida con temperatura media anual mayor que 22 °C y la del mes más frío menor que 18 °C, con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 del total anual, siendo extremoso con oscilación térmica entre 7 y 14 °C. Para la estación climatológica 25-059, localizada en Topolobampo, la temperatura promedio anual es de 24 °C con la máxima en julio, mientras que la precipitación promedio anual es de 240.9 mm, siendo septiembre el mes más lluvioso (Anónimo, 1970).

Marco geológico y fisiográfico

De acuerdo con un estudio anónimo (1990a), esta área está rodeada principalmente por suelos aluviales cuaternarios, que sobreyacen a afloramientos de brechas volcánicas basálticas, también del Cuaternario, y andesíticas del Terciario Superior. En la franja costera se tienen depósitos arenosos que han sido retrabajados por las corrientes litorales, mareas, viento y oleaje, que contribuyen a la formación de dunas, barras y bajos.

La región de Ohuira-Topolobampo también pertenece a la Unidad Morfotectónica VII propuesta por Carranza-Edwards *et al.* (1975), en la provincia fisiográfica denominada llanura costera de Sinaloa (Alvarez, 1962). El sistema lagunar Ohuira-Topolobampo es clasificada de acuerdo a su origen como II-A, es decir, formada por sedimentación terrígena diferencial, siendo una depresión marginal e intra deltaica (Lankford, 1977).

Sistema hidrológico

La red hidrográfica de esta zona pertenece a la vertiente occidental de la Sierra Madre Occidental, en donde se presentan los ríos Fuerte y Sinaloa y algunos arroyos intermitentes que desembocan en el Golfo de California, a lo largo de los cuales se han construido presas de donde emanan un gran número de canales de riego. Algunos de estos canales desembocan en el sistema lagunar, además de tres drenes de aguas negras y de desechos industriales provenientes de la Ciudad de Los Mochis (parcialmente), Topolobampo, Paredones, Lázaro Cárdenas y Juan José Ríos.

La Secretaría de Marina (Anónimo, 1990b) llevó a cabo un estudio sobre las corrientes en esta zona de estudio, observando que durante el flujo de mareas, la corriente se interna paralela al cauce del canal de navegación, disminuyendo desde la boca del sistema lagunar hacia las partes más someras. Una vez que el agua pasa por el canal que comunica a las dos lagunas se divide en dos pequeñas corrientes, una en dirección noreste hacia las regiones someras del norte de la laguna de Ohuira, mientras que para la región sureste de este cuerpo de agua, la corriente entrante fluye con dirección este-sureste, para después virar al noreste siguiendo el contorno de la costa. Durante el reflujó, en la Bahía de Ohuira las corrientes fluyen en dirección sureste siguiendo el cauce del canal, para girar al suroeste en el estrecho que une las lagunas, donde se incrementa la intensidad, para finalmente fluir hacia el suroeste y sur-suroeste sobre el canal de navegación.

Actividades antropogénicas

Si bien la principal actividad en esta zona de estudio es la portuaria, esta implica el establecimiento de industrias de transformación de las materias primas que son transportadas vía marítima o como producto de la actividad pesquera. Como parte del puerto, existen los muelles de PEMEX, de transbordadores y de la flota pesquera. Existe además una pesca ribereña que utiliza lanchas con motor fuera de borda para

sus operaciones y en los márgenes del sistema lagunar se ubica una termoeléctrica. Aunado a lo anterior, colindante de este sistema lagunar se encuentra una de las regiones agrícolas más intensivas del país, con el subsecuente uso de plaguicidas y fertilizantes, algunos de cuyos drenes desembocan en dicho cuerpo de agua (Tabla 1.3).

1.3.3 Bahía de Guaymas, Sonora.

Localización

El Puerto de Guaymas se ubica en el interior del Golfo de California, sobre la costa del Estado de Sonora, entre los paralelos 27° 50' y 28° 00' latitud Norte y los meridianos 110° 48' y 110° 55' de longitud Oeste (Fig. 1.2). Este cuerpo de agua posee un área aproximada de 28 km², con una profundidad promedio de 2.3 m. En la cabeza del sistema lagunar se localizan dos pequeñas islas llamadas Mellizas, y en la parte central, existen otras dos islas de mayor tamaño (Almagre Chico y Almagre Grande).

Clima

El clima de la región de acuerdo con la clasificación propuesta por Köppen y modificada por García (1973) es muy seco, semicálido con temperatura media anual entre 18 y 22°C y la del mes más frío > 18°C, con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 del total anual, siendo extremoso con oscilación térmica entre 7 y 14 °C (Bwh'(h)w(e)). La temperatura promedio anual para la estación climatológica 26-024 ubicada en Guaymas es de 24.9°C con la máxima temperatura en julio. La precipitación promedio anual es de 238.1 mm, siendo agosto el mes más lluvioso (Anónimo, 1970).

Marco geológico y fisiográfico

En su margen oeste, la Bahía de Guaymas esta circundada por rocas igneas extrusivas

ácias del Terciario, en tanto que hacia la región norte, en donde se ubica la ciudad del mismo nombre, afloran rocas sedimentarias denominadas conglomerados del Cuaternario (Anónimo, 1988).

Según Carranza-Edwards *et al.* (1975), la zona de Guaymas está ubicada dentro de la Unidad Morfotectónica VII, en la provincia fisiográfica zona desértica de Sonora (Alvarez, 1962). La unidad VII esta clasificada de acuerdo al criterio tectónico de Inman y Nordstrom (1971) como costas de arrastre de neo-eje; en tanto que desde un punto de vista morfológico y genético (Shepard, 1973), éstas costas son primarias, formadas por movimientos diastróficos, costas de falla, costas de "rift". Por otro lado, Lankford (1977) clasifica la laguna costera de Guaymas como tipo I-E, lo que significa que ha sido formada por erosión diferencial inundando un cañón rocoso.

Sistema hidrológico

Esta zona de estudio forma parte de la cuenca hidrológica del río Matape, la cual abarca 9 043 km², en donde se siembran hortalizas, trigo, cártamo, algodón, cítricos, vid, nogal y forrajes (Anónimo, 1993). Aunque el mencionado río no desemboca en la bahía, existen algunas escorrentias que drenan hacia la laguna.

Desgraciadamente no existe (o no está disponible) información referente a las corrientes internas de la laguna. Sin embargo, Montañó-Ley *et al.* (2000) mencionan que, de acuerdo con Gilmartin y Revelante (1978), el volumen mareal de la Bahía de Guaymas es de 30 x 106 m³, en tanto que el total es de 93 x 106 m³, con el índice de flujo de 0.32.

Actividades antropogénicas

La actividad antropogénica en la Bahía de Guaymas se acota principalmente a la actividad de pesca ribereña en el interior y en el margen norte de la misma, donde se localiza la ciudad del mismo nombre, con sus respectivas descargas de aguas

municipales e industriales; y los muelles propios del puerto como son los de los transbordadores, de PEMEX y de una cementera (CEMEX). También existe una termoeléctrica, cuyas aguas de enfriamiento son vertidas a la Bahía de Guaymas (Tabla 1.3).

1.3.4 Laguna de La Paz y zona adyacente de la Bahía de la Paz, Baja California Sur.

Localización

La zona de estudio correspondió a la parte sur de la Bahía de La Paz, B. C. S., abarcando principalmente la laguna del mismo nombre y la zona costera adyacente a su conexión con la bahía, tomando como límite septentrional el puerto de Pichilingue, por lo que el área de estudio queda comprendida entre los paralelos 24° 05' y 24° 24' latitud Norte y los meridianos 110° 15' y 110° 27' longitud Oeste (Fig. 1.2), en la vertiente oriental de la península de Baja California, al oeste de la Ciudad de La Paz, capital del estado de Baja California Sur. Laguna (también conocida como Ensenada de Arípez o de La Paz), cubre un área de 45 km² y está separada de la bahía por una barrera arenosa denominada El Mogote.

Clima

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García (1973), el clima de esta zona es del tipo BW(h')hw(e), lo que significa que el área es muy seca, cálida con temperatura media anual mayor que 22 °C y la del mes más frío menor que 18 °C, con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 del total anual, siendo extremoso con oscilación térmica entre 7 y 14 °C. La Secretaría de Marina (Anónimo, 1970), mencionó que para la estación climatológica 03-023, ubicada en La Paz, existe una temperatura promedio anual de 24 °C, siendo el mes más caluroso agosto, y una precipitación promedio anual de 204.6 con la máxima lluvia en septiembre.

Marco geológico y fisiográfico

La Laguna de La Paz se ubica en el extremo noroeste de una gran planicie formada por el graben de La Paz, el cual está limitado por dos grandes sistemas de fallas normales; uno de estos se localiza al noroeste con un rumbo noroeste-sureste y el otro al sureste con rumbo norte-sur. El pilar noroeste expone las formaciones San Gregorio, San Isidro y Comondú; en tanto que en el pilar sureste afloran la formación Comondú al norte y el batolito granítico cretácico al sur, formando las sierras La Pintada y La Victoria (Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham, 1986; Alvarez-Arellano *et al.*, 1997). Las características litológicas de dichas formaciones han sido descritas por diversos autores (Osuna, 1986; Mendoza-Maravillas, 1990; Fonseca-Rivera, 1991), destacando que la formación San Gregorio se compone de rocas sedimentarias marinas del Oligoceno Superior, con alto contenido de fosfatos. De hecho, en esta formación se encuentran los yacimientos de fosforita que actualmente explota ROFOMEX, al noroeste de la zona de estudio. Suprayaciendola se encuentra la formación San Isidro, sedimentaria marina de edad probable Miocénica Inferior a Media. Sobre esta formación se encuentra la secuencia vulcanosedimentaria del Mioceno Superior, denominada Formación Comondú (Hausback, 1984).

Carranza-Edwards *et al.* (1975), clasifican a toda la costa oriental de la Península de Baja California como Unidad Morfotectónica VI, siendo costas de arrastre de neo-eje (Inman y Nordstrom, 1971), incluyendo costas primarias formadas por movimientos diastróficos (Shepard, 1973). Según la clasificación propuesta por Lankford (1977), la laguna costera de La Paz es del tipo III-A, de plataforma interna con barrera Gilbert-de Beaumont. Según dicho autor, este tipo de cuerpos de agua se originaron por la inundación de depresiones en la margen interna de la plataforma continental y están protegidos del mar por barreras formadas por la acción de las olas y corrientes.

Sistema hidrológico

Debido a las características climatológicas y edafológicas en la región circundante a

esta zona de estudio, el aporte de agua dulce a la laguna es muy reducido y primordialmente se limita a las lluvias de verano. El transporte de materiales erosionados ocurre a través de una red de drenaje subparalela a dendrítica formada por los arroyos intermitentes La Ardilla, San Pedro, El Novillo, La Palma y El Cajoncito; ubicados en la parte sur, oeste y este de la laguna. En este sentido, es de considerarse también el aporte (hasta 1988), por la descarga de aguas municipales procedentes de la planta de tratamiento de la Ciudad de La Paz (150 000 habitantes), en el interior del cuerpo lagunar (sureste), la cual se estima en 5 000 t/año de sólidos totales (Nava-Sánchez y Cruz-Orozco, 1989), y los transportes eólico, mareal y por corrientes costeras a través de la boca de la laguna (Jiménez-Illescas, 1996), las cuales alcanzan velocidades de hasta $3-8 \text{ ms}^{-1}$, en el área de El Pulguero, cerca de Pichilingue.

Por su parte, Morales y Cabrera-Muro (1982), utilizaron un método numérico para identificar las corrientes internas de la laguna, observando que durante el flujo, el agua entra por el canal formado entre El Mogote y la Ciudad de La Paz y una vez adentro, se divide en dos, un giro ciclónico al norte y otro anticiclónico al sur.

Actividades antropogénicas

Durante muchos años, la actividad económica principal en la Ciudad de La Paz fue el comercio, lo que propició que las actividades industriales no se desarrollaran en gran escala. Por otro lado, las condiciones climáticas, poco aptas para la agricultura, han provocado que tampoco haya grandes impactos ambientales originados por el uso de agroquímicos, o la deforestación inherente al cambio de uso de suelo que se produce al realizar esta actividad. De tal forma, que esta zona de estudio ha sido considerada como la menos contaminada; pues si bien, prácticamente todas las actividades llevadas a cabo en Mazatlán, Ohuira-Topolobampo y Guaymas se realizan también aquí, la intensidad de estas actividades es mucho menor. Sobre la margen oeste de la Bahía de La Paz, adyacente a la boca de la laguna, se localizan los muelles de los transbordadores y la incipiente flota pesquera, una planta empacadora de sardina (Puerto de Pichilingue), el muelle de PEMEX, la termoeléctrica y una pequeña zona

hotelera (2 hoteles); y en el interior de la laguna se recibía hasta el año de 1988 la descarga de aguas municipales (Tabla 1.3).

Es necesario mencionar la existencia de yacimientos de fosforitas que son explotados por ROFOMEX en San Juan de la Costa (sobre la margen oeste de la Bahía de la Paz), que si bien no se ubica dentro de los límites geográficos de este estudio, es una fuente potencial importante de material transportado por las corrientes litorales que fluyen desde esa localidad hacia la boca de la laguna, entrando a la misma durante el flujo de mareas.

1.4 Objetivos

Objetivo general

Conocer los procesos biogeoquímicos naturales que determinan la distribución espacial y temporal de los metales pesados en las diferentes fracciones químicas en los cuatro principales puertos del Golfo de California (Mazatlán y Topolobampo, Sin.; Guaymas, Son. y La Paz, B. C. S), y los cuerpos de agua asociados a ellos. Asimismo, determinar la alteración provocada por la actividad antropogénica sobre los procesos geoquímicos de algunos metales pesados y su relación con la granulometría, mineralogía y, los contenidos de carbonatos y carbono orgánico de los sedimentos de los puertos mencionados.

Objetivos específicos

1. Conocer el patrón de distribución espacial de la concentración de Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Zn en los sedimentos superficiales de los puertos de Mazatlán, Topolobampo, Guaymas y La Paz, para identificar zonas de enriquecimiento y evidenciar zonas potencialmente críticas.

2. Determinar la proporción correspondiente de cada metal pesado analizado en la fracción geoquímica potencialmente biodisponible (operacionalmente definida), para conocer cuales regiones o subregiones contienen niveles potencialmente biodisponibles elevados y de esta manera evidenciar las más críticas.
3. Averiguar la relación que existe entre los niveles de metales totales y potencialmente biodisponibles con el tamaño promedio de partícula, la mineralogía de la fracción arcillosa y, el contenido de carbonatos y carbono orgánico, para deducir los mecanismos de enriquecimiento o empobrecimiento de los metales pesados en los sedimentos superficiales de cada uno de los puertos elegidos para este estudio.
4. Conocer las concentraciones relativas de los metales pesados en los sedimentos depositados previamente, mediante la obtención de núcleos sedimentarios en cada uno de los puertos mencionados y sus correspondientes análisis.
5. Comparar el comportamiento geoquímico de los metales pesados en los sedimentos de tres puertos de alta actividad antropogénica (Guaymas, Topolobampo y Mazatlán) y uno de baja actividad (La Paz).
6. Una vez cumplidos los anteriores objetivos específicos y considerando globalmente los resultados, identificar posibles zonas críticas en cada localidad.
7. Discutir tanto en el contexto nacional como internacional los resultados aquí obtenidos, comparándolos con aquellos de otras regiones costeras de México y del mundo.

CAPITULO 2

METODOLOGIA

2.1 Muestreo

Se colectaron 29 muestras de sedimento superficial de la Bahía de Mazatlán y un núcleo sedimentario de 35 cm de largo en el interior del estero de Urías (Fig. 2.1). Asimismo, en el sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo, se obtuvieron 41 muestras de sedimento superficial y un núcleo con una longitud de 44 cm (Fig. 2.2). Se obtuvieron 51 muestras de sedimento superficial y un núcleo de 19 cm de largo de la Bahía de Guaymas (Fig. 2.3). Adicionalmente, se obtuvieron 126 muestras de sedimentos superficiales, 86 correspondientes al interior de la Laguna de la Paz, 16 a los arroyos que desembocan en ella y 24 a la región sureste de la Bahía de la Paz, desde el Puerto de Pichilingue hasta la entrada al canal que conecta con la laguna (Fig. 2.4).

Los núcleos muestreados fueron divididos en secciones de 1 cm de ancho desde la parte superficial hasta los 15 cm de profundidad, a partir de ahí, las secciones se cortaron cada 5 cm hasta la longitud total. En el caso del núcleo obtenido en Guaymas, todas las secciones fueron de 1 cm de espesor.

Con base en lo anterior, se colectaron 247 muestras superficiales y 59 secciones de los núcleos, sumando un total de 309 muestras de sedimentos.

Los sedimentos superficiales se obtuvieron a bordo de lanchas con una draga tipo Van Veen y recuperándose los primeros 5 cm, asegurando colectar el sedimento que no estuvo en contacto con la pared de la draga. Los núcleos fueron extraídos con un nucleador de gravedad y fueron seccionados en campo. Todas las muestras se almacenaron en hieleras a una temperatura aproximada de 4°C, para posteriormente congelarse en el laboratorio hasta su análisis.

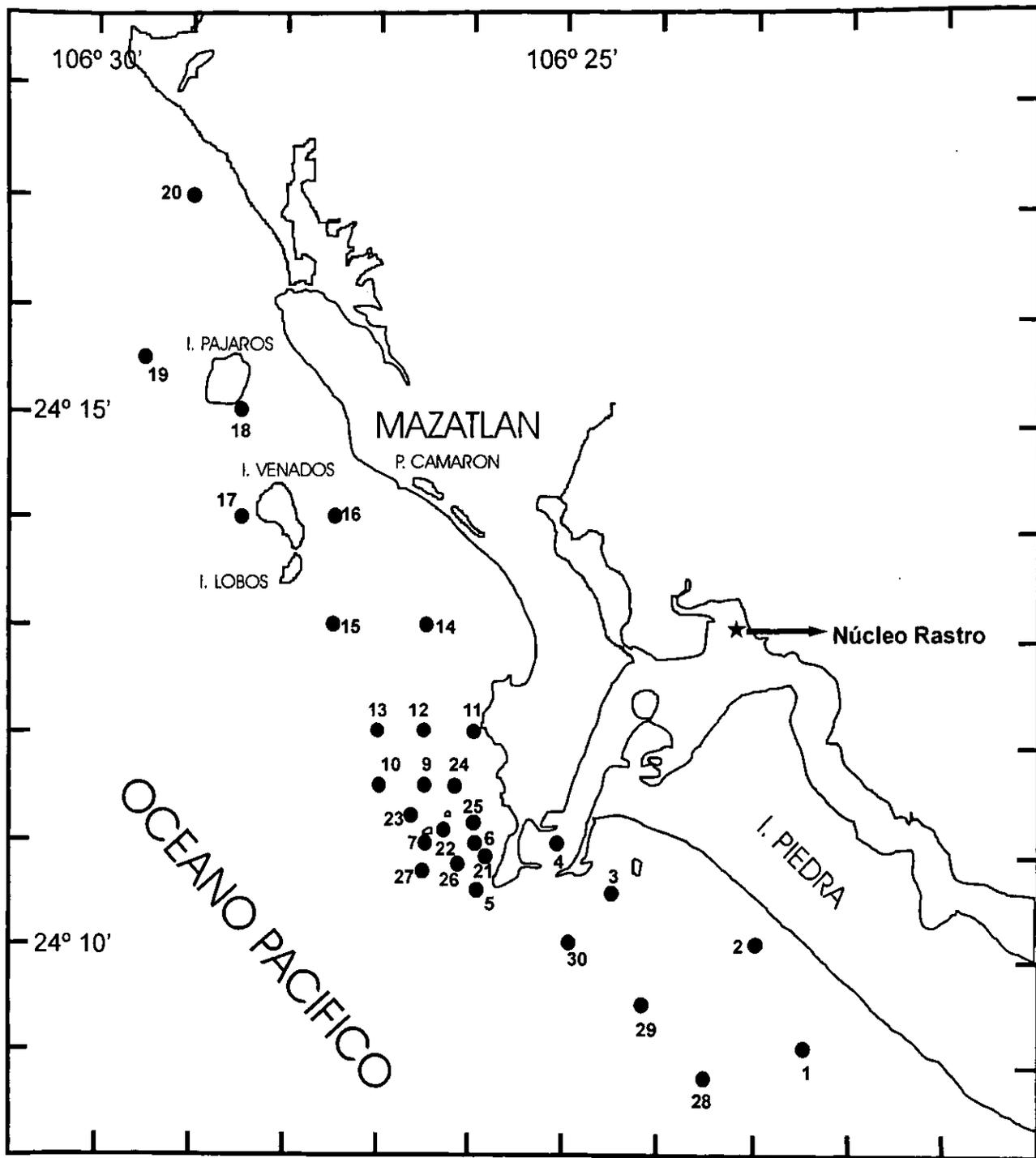


Fig. 2.1.- Localidades de muestreo en la Bahía de Mazatlán.

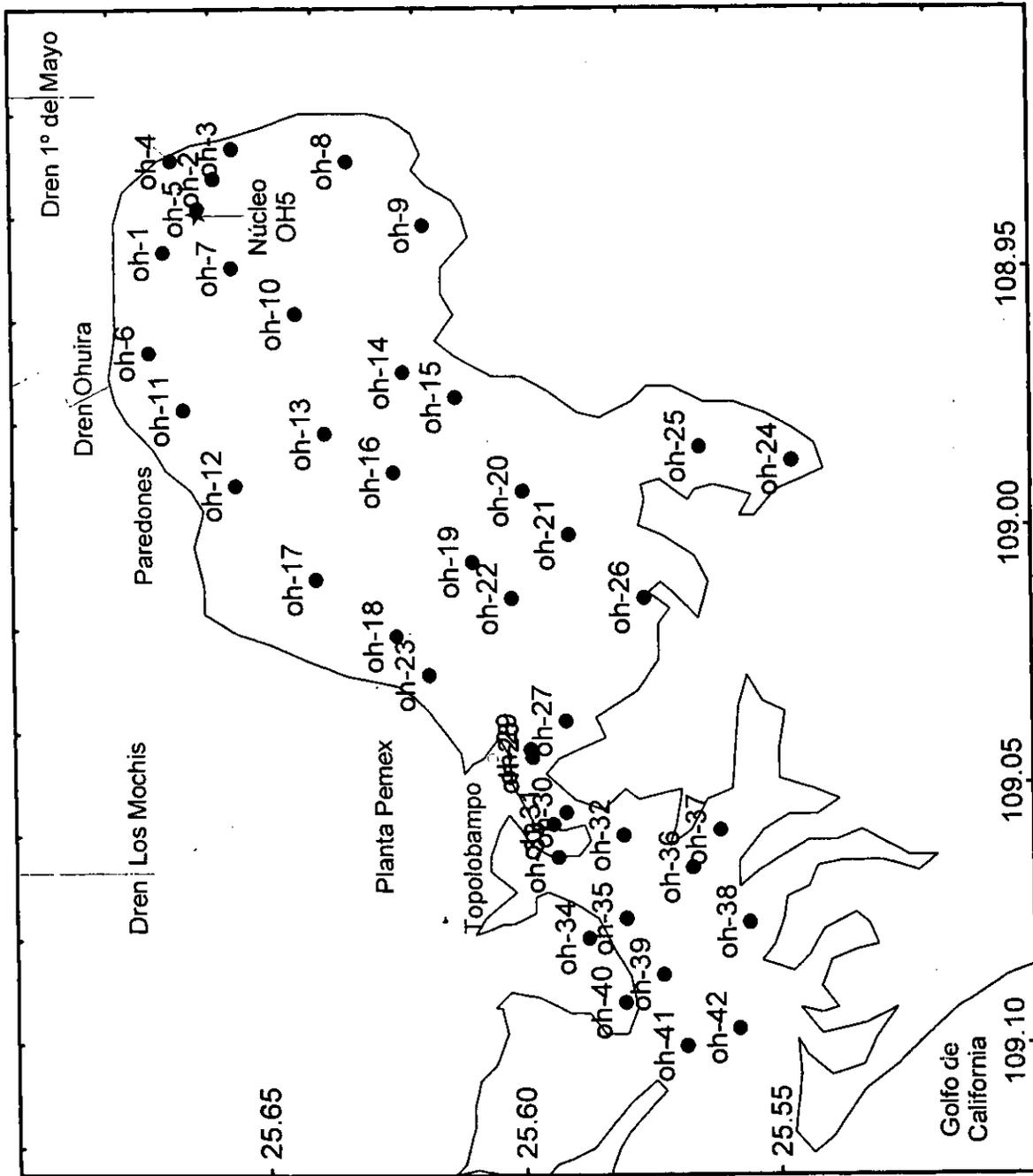


Fig. 2.2.- Distribución de las estaciones de muestreo en el sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo.

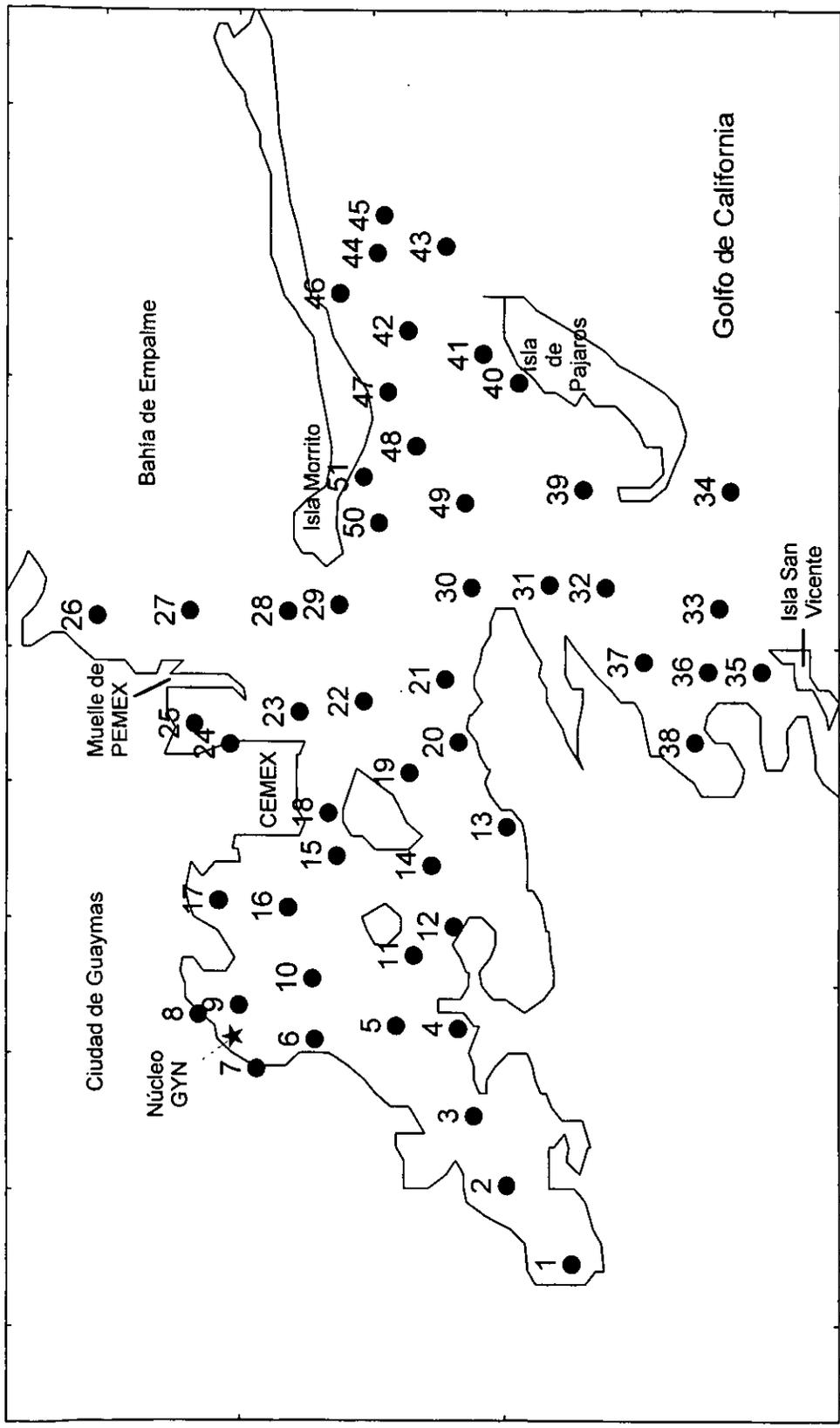


Fig. 2.3- Distribucion de las estaciones de muestreo en la Bahía de Guaymas.

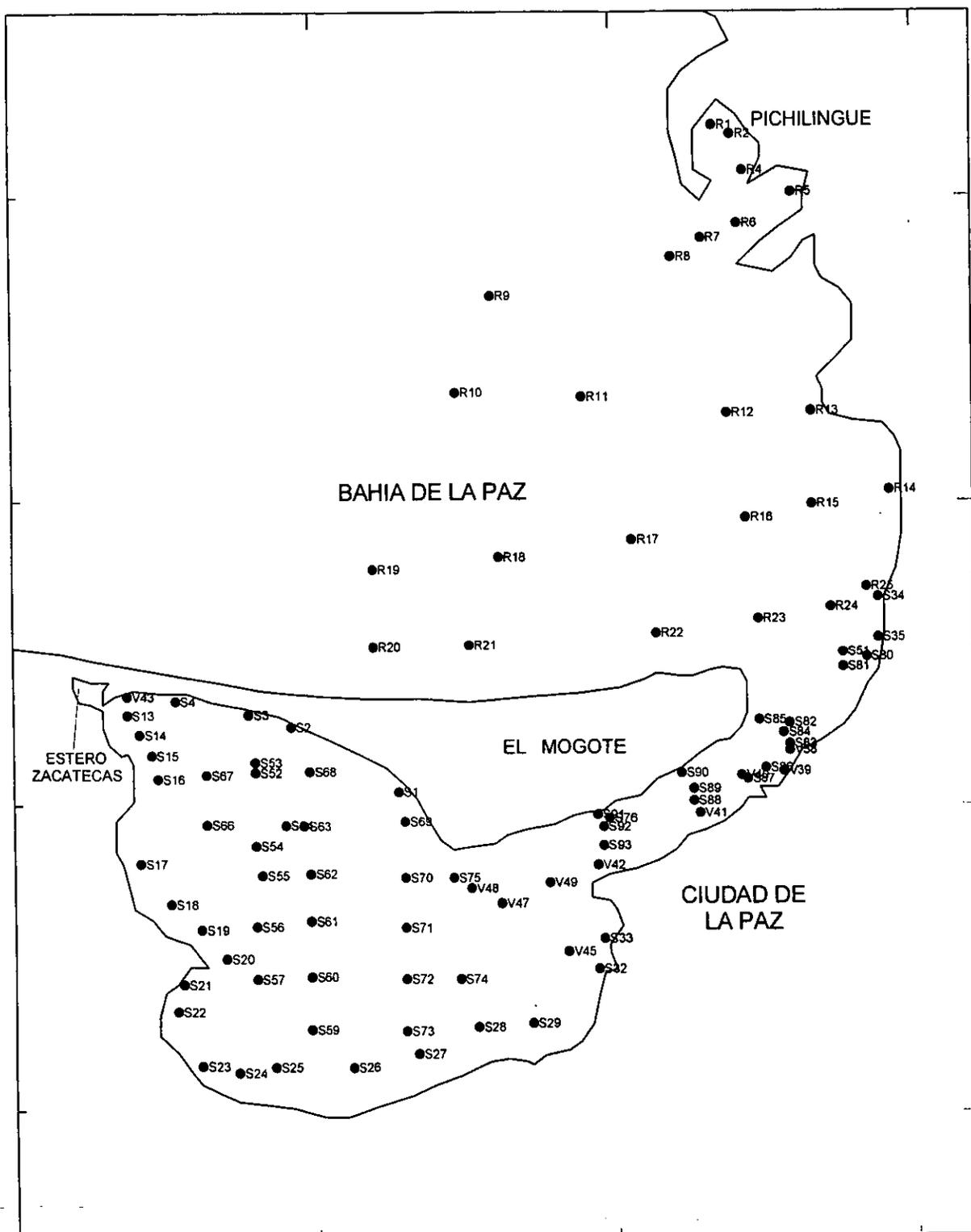


Fig. 2.4.- Localidades de muestreo en la Llaguna de La Paz y región adyacente de la Bahía de La Paz.

2.2 Granulometría

Las muestras de sedimentos superficiales se analizaron granulométricamente de acuerdo con el método propuesto por Folk (1974), eliminando la materia orgánica con H_2O_2 (30 %) y separando los componentes gruesos (gravas y arenas) y finos (limos y arcillas), a través de un tamiz con abertura de 62 micras (4ϕ). La fracción gruesa se secó a 60°C , pesándose posteriormente para conocer su porcentaje. En cuanto a los limos y arcillas, una vez que se colocaron en una probeta de 1000 ml de capacidad, aforándola a dicho volumen con agua destilada y añadiendo 0.6 g de hexametáfosfato de sodio como dispersante, se determinó su proporción agitando la mezcla hasta homogenizarla y efectuado pipeteos: el primero a los 20 s a una profundidad de 20 cm y el segundo a las 4 h con 5 min a 5 cm de profundidad, equivalentes a 4ϕ y 9ϕ , respectivamente, las alícuotas fueron transferidas a crisoles para su secado y posterior pesado, conociendo así los porcentajes correspondientes a los limos y las arcillas (Fig. 2.5).

2.3 Mineralogía

La abundancia relativa de los minerales arcillosos se determinó con el método semicuantitativo sugerido por Biscaye (1965) adaptado por Heath y Piasias (1979). Se eliminó la materia orgánica a cada muestra de sedimento con peróxido de hidrógeno (30 %), para después separar las arenas por tamizado (apertura de $63 \mu\text{m}$) de los limos y arcillas y por decantación y centrifugación estos dos últimos (Ruiz-Fernández, 1999). Una vez obtenida la fracción arcillosa, se procedió a montar las láminas añadiendo una gota de mezcla arcilla-agua en portaobjetos circulares de 1 cm de diámetro y dejando que se secaran a temperatura ambiente por 24 horas. Después de agregarle una gota de etilen-glicol, las láminas fueron analizadas en un difractómetro de rayos X marca SIEMENS en cual emplea un software Difracc/AT versión 3.11, usando radiación de $\text{Cu K}\alpha$, a una velocidad de barrido de 2ϕ por minuto (Fig. 2.6).

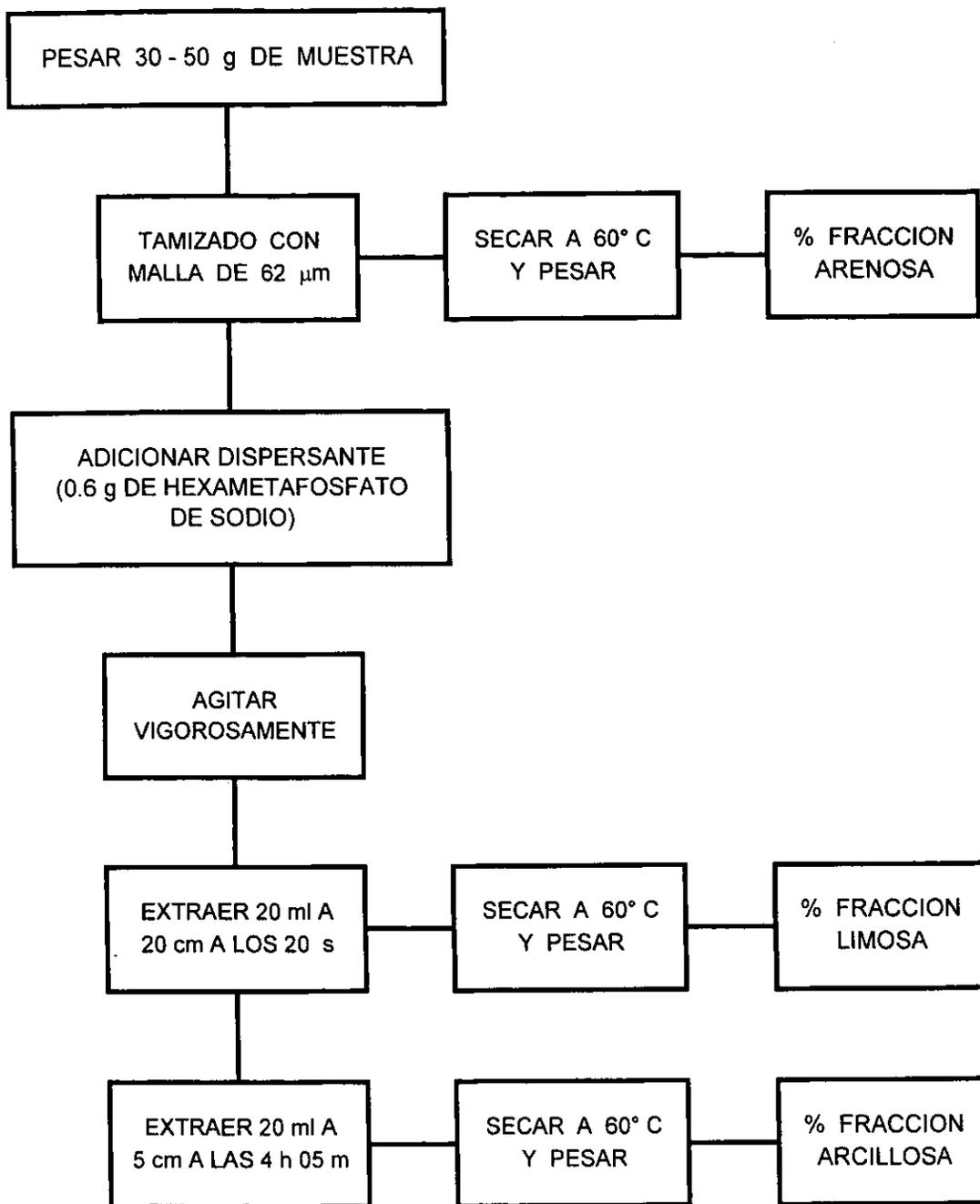


Figura 2.5.- Metodología para la determinación del tamaño de grano de los sedimentos. Modificada de Folk (1974).

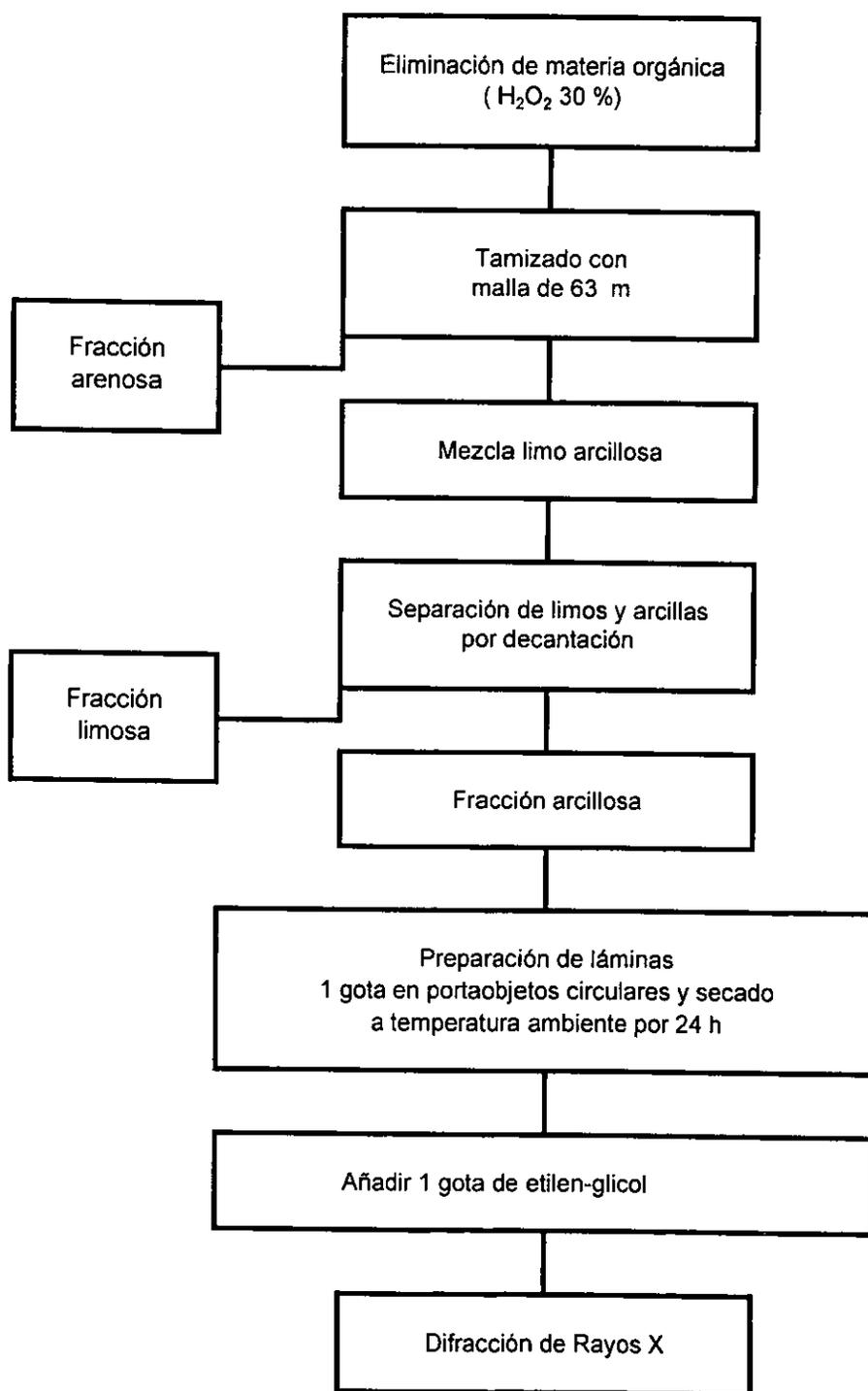


Figura 2.6.- Analisis de la abundancia relativa de los minerales arcillosos de acuerdo con Biscaye (1965) adaptado por Heath y Pisias (1979).

Para calcular el área del pico de los difractogramas se utilizó el método propuesto por Mann y Fischer (1982) y la determinación semi-cuantitativa de las abundancias relativas se realizó como lo describió Biscaye (1965), adaptándolo según Heath y Pisias (1979). Se asumió que la suma de las áreas de los picos correspondientes a montmorillonita, illita, caolinita y clorita constituye el 100 % de los minerales arcillosos. Dicha suma (Knebel *et al.*, 1968) consistió en el área de la montmorillonita (19 Å), más cuatro veces el área de la illita (10 Å) y dos veces el área del pico de caolinita-clorita (7 Å). Para diferenciar entre la abundancia de caolinita y de clorita, se consideraron los picos de 3.58 y 3.54, respectivamente (Biscaye, 1964).

2.4 Análisis geoquímicos

Las muestras de sedimento se descongelaron, secaron (a 60 °C) y pulverizaron en un triturador mecánico con mortero de porcelana para realizar los análisis geoquímicos. El contenido de carbonatos se obtuvo de acuerdo al método recomendado por Rauret *et al.* (1987), añadiendo 10 ml de HCl (ácido clorhídrico) a 0.5 g de sedimento, para provocar su reacción con los carbonatos, agitando ultrasónicamente por 7 minutos (Pérez-Cid *et al.* 1998) y titulando el exceso de ácido con NaOH 0.5 N (Fig. 2.7).

Para determinar el contenido de carbono orgánico se utilizó el método propuesto por Walkley y Black (1934), modificado por Loring y Rantala (1992), el cual consiste en colocar 0.5 g de sedimento en un matraz Erlen Meyer de 500 ml de capacidad, al cual se le añadió 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1N y 20 ml de H_2SO_4 preparado con 0.05 g de Ag_2SO_4 por cada litro de ácido. Se calentó la mezcla por 30 min a 140 °C (El-Rayis, 1985). Una vez fría la solución se aforó a 200 ml con agua destilada y se le agregó 10 ml de H_3PO_4 al 85 %, 0.2 g de NaF y 15 gotas de difelinamina como indicador. Se tituló con $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 0.5N (Fig. 2.8).

A todas las muestras se les determinó la concentración total de metales (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Zn) mediante el método espectrofotométrico de absorción atómica, después de digerir 0.5 g de sedimento en bombas de teflón (Rantala y Loring,

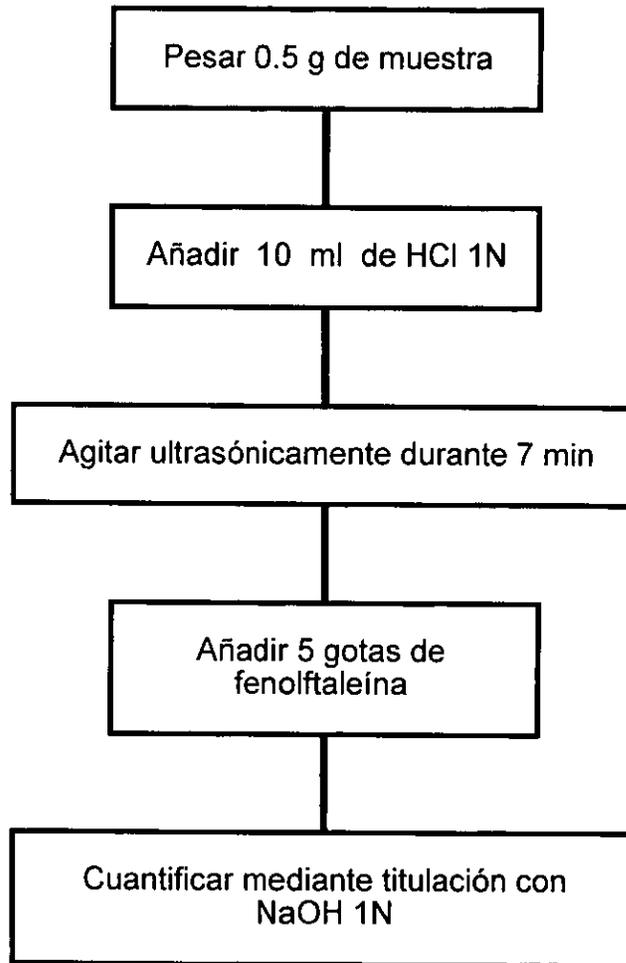


Figura 2.7.- Determinación del contenido de carbonatos. Modificada de Rauret *et al.* (1987).

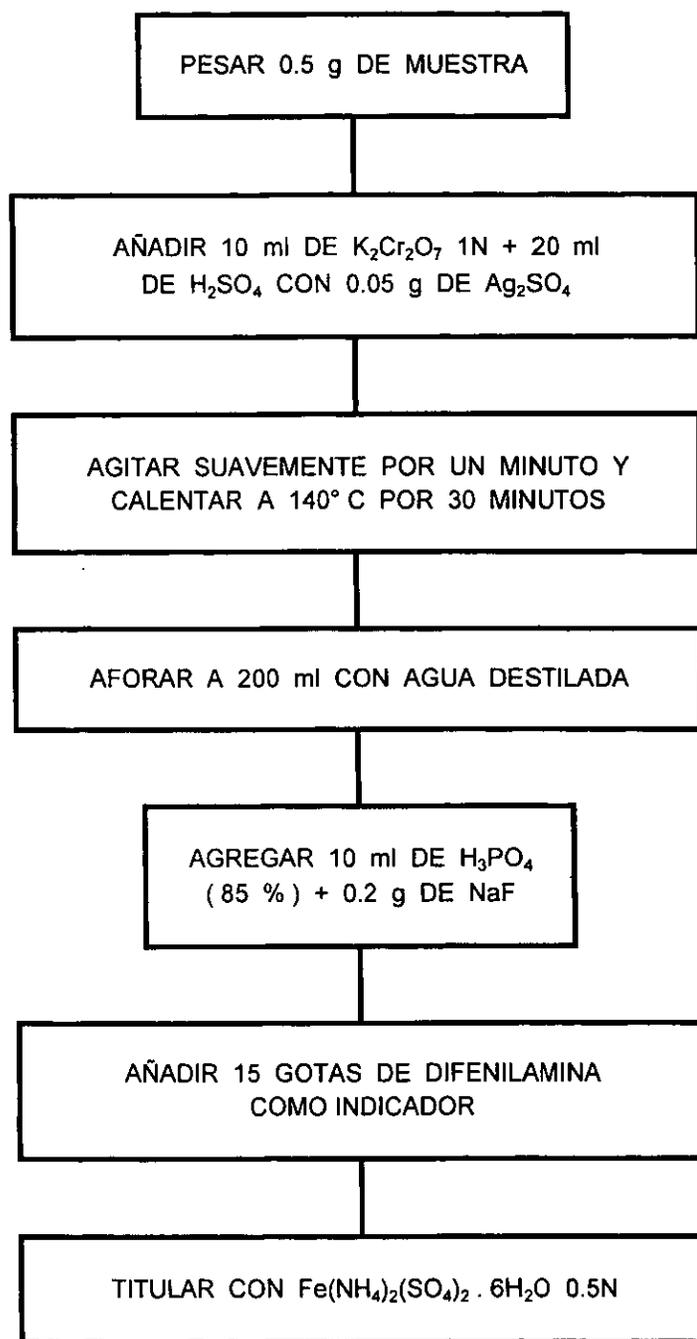


Figura 2.8.- Determinación de carbono orgánico según Walkley y Black (1934), modificado por El-Rayis (1985) y Loring y Rantala (1992).

1989), con 5 ml de HNO₃ (concentrado), 1 ml de HCl, 4 ml de HF (concentrado) y 10 ml de agua destilada, sometiénolo altas presiones (Tabla 2.1) en un sistema de microondas (CEM INNOVATORS IN MICROWAVE TECHNOLOGY, 1994). Todos los reactivos empleados fueron grado analítico y se corrieron blancos a fin de detectar posible contaminación durante el manejo de las muestras (Fig. 2.9). La confiabilidad de la metodología se probó mediante el análisis de una muestra de referencia de sedimento SDN-1/2 (Tabla 2.2), proporcionado por la International Atomic Energy Agency (1985). A excepción de Pb y Co, los cuales fueron sobrestimados considerablemente (248 y 181 %, respectivamente), el resto de los metales estudiados presentaron porcentajes de recuperación aceptables (73 a 127 %). Las diferencias entre las concentraciones totales de los metales obtenidas en el presente estudio, para el material de referencia y aquellas encontradas por la International Atomic Energy Agency (1985), pueden tener su origen en las diferencias de las metodologías empleadas hace 12 – 15 años, a las utilizadas actualmente (e. g. diferentes reactivos, horno de microondas, etc.). Sin embargo, las tendencias de los patrones de distribución de cada metal, así como la identificación de valores anómalos al emplear análisis de regresión entre el Al o el Li, y los demás metales no se modifican.

Tabla 2.1.- Condiciones de trabajo del digestor de microondas utilizado en la digestión total de los sedimentos.

	Paso 1	Paso 2	Paso 3
Potencia (%)	100	100	100
Presión (PSI)	0040	0080	0100
Tiempo (min)	8	8	45
TAP* (min)	3	3	20

* Tiempo máximo a la presión requerida.

Asimismo, para conocer el coeficiente de variación se realizaron análisis por

sextuplicado de las muestras S59 para Al, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni y Zn, y R6 para Cd y Pb. Los resultados se muestran en la tabla 2.3, observándose que ningún valor sobrepaso el 10 %.

Tabla 2.2.- Concentración promedio del material de referencia SDN-1/2 (n=5), obtenida en este estudio, su valor certificado y el porcentaje de recuperación.

	IAEA (1985)	Este estudio	Recuperación (%)
Al*	3.7 (3.6 – 3.8)	4.4 ± 0.1	119
Cd	11 (10 – 12)	13.6 ± 1	124
Cr	149 (125 – 161)	132 ± 3.8	89
Cu	72.2 (68.1 – 75.2)	52.4 ± 11.8	73
Fe*	3.6 (3.5 – 3.8)	3.3 ± 0.3	92
Mn	777 (728 – 801)	596.7 ± 52.2	77
Ni	31 (27 – 34)	39.3 ± 6.4	127
Zn	439 (423 – 452)	355.2 ± 28.3	81

* No certificados por la IAEA.

Para cuantificar la proporción de Cd, Cu, Fe, Pb y Zn que está potencialmente disponible para la biota, se utilizó la técnica propuesta por Luoma y Bryan (1981), modificada por Szefer *et al.* (1995), la cual consiste en agregar 10 ml de HCl 1N a 1 g de sedimento y agitarlo 7 min ultrasónicamente (Pérez-Cid *et al.* 1998), para posteriormente emplear un espectrofotómetro de absorción atómica (fig. 2.10). Sin embargo, se observó que las muestras con mas de 50 % de carbonatos no se digerían en su totalidad, por lo que fue necesario añadirles otros 10 ml de HCl.

2.5 Procesamiento de los datos

Los resultados que se obtuvieron para las concentraciones de cada parámetro se

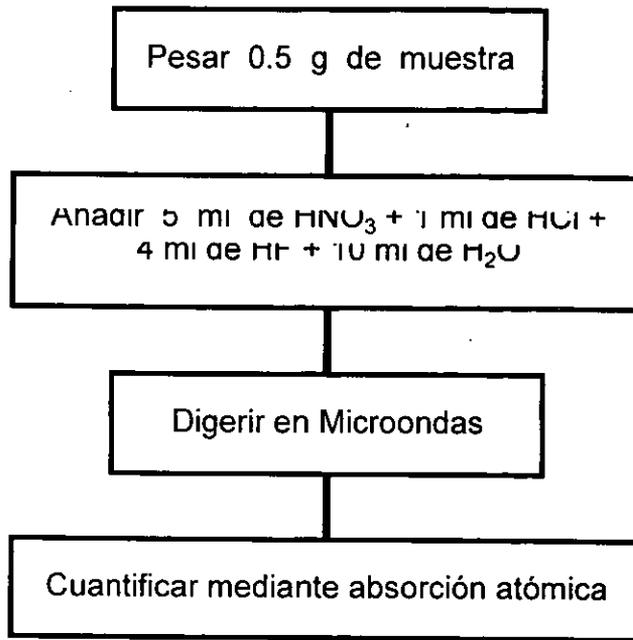


Figura 2.9.- Determinación de la concentración total de metales pesados propuesta por Loring y Rantala (1992) y modificada por CEM (1994).

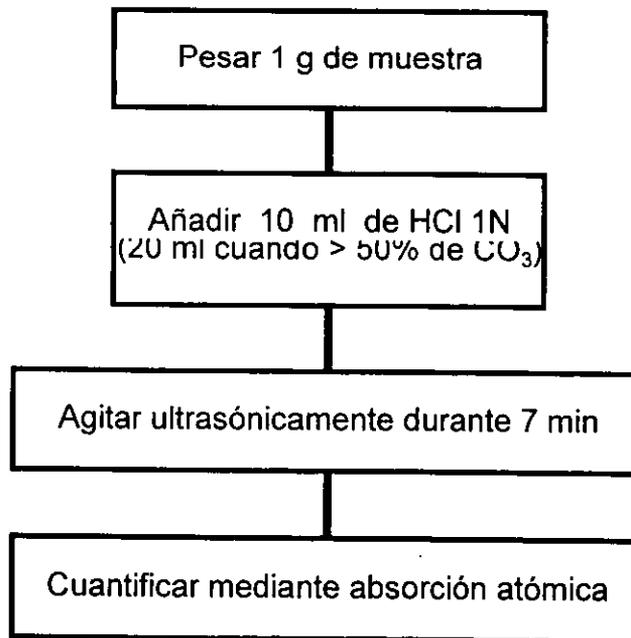


Figura 2.10.- Determinación de metales pesados biodisponibles sugerida por Luoma y Bryan (1981), modificada por Szefer (1995).

representan en mapas de las localidades, empleando intervalos de concentraciones para identificar zonas de altos y bajos contenidos de estos elementos y los componentes mayoritarios analizados. Si bien en el caso de cobalto y plomo existe una sobre estimación de sus concentraciones reales, el comportamiento relativo de la distribución de estos metales en los sedimentos de los cuerpos de agua estudiados es válido.

Tabla 2.3.- Promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de la determinación de metales en muestras por sextuplicado.

	Promedio	Desviación estándar	Coeficiente de Variación (%)
Al (%)	8.5	0.1	1.4
Cd (ppm)	4.3	0.2	5.3
Co (ppm)	52.5	0.9	1.8
Cr (ppm)	37.0	0.7	2.0
Cu (ppm)	30.2	0.6	1.9
Fe (%)	3.9	0.2	4.0
Li (ppm)	14.9	0.3	2.1
Mn (ppm)	309.2	4.5	1.5
Ni (ppm)	41.1	2.0	5.0
Pb (ppm)	80.8	3.3	4.1
Zn (ppm)	123.9	3.6	2.9

Con el objeto de encontrar correlaciones entre las diferentes variables, se utilizaron regresiones lineales, creándose una matriz con los coeficientes (r). De acuerdo a los grados de libertad y utilizando una tabla estadística se definió la t de "student", determinando los coeficientes significativos al 95 y 99 % de confianza (Zar, 1984).

Se elaboraron gráficas de todos los metales pesados en la fracción total usando Al y Li

como variables independientes, excepto cuando algún metal no se correlacionó con algunos de estos elementos. Cabe hacer mención que todos los cálculos y gráficas se realizaron empleando hojas de calculo del software Excel 97 de Microsoft Corp., en tanto que los mapas de distribución se realizaron con COREL97 (para la Bahía de Mazatlán) y Surfer versión 16 (para las Bahías de Ohuira y Topolobampo, Guaymas y La Paz).

Para determinar el factor de enriquecimiento de los metales pesados analizados con respecto a los valores dados como concentraciones promedio de la corteza terrestre (Taylor, 1964; Wedepohl, 1969-1978), se empleó la relación sugerida por Buat-Ménard (1979):

$$FE = \frac{[M]_i / [E]_i}{[M]_r / [E]_r} \quad (1)$$

donde: $[M]_i$ es la concentración del metal en el sedimento del área de estudio; $[E]_i$ la concentración del elemento conservativo (Al o Li) en el sedimento del área de estudio; $[M]_r$ el contenido promedio del metal en la corteza; y $[E]_r$ la concentración del elemento conservativo en la corteza.

Asimismo, se calculó el índice de geo-acumulación propuesto por Müller (1979), definido como:

$$I_{geo} = \text{Log} \frac{[M]_i}{1.5 [M]_r} \quad (2)$$

donde $[M]_i$ y $[M]_r$ son las concentraciones del metal en el sedimento del área de estudio y el promedio de la corteza, respectivamente. Clasificándolo de acuerdo a la tabla 2.3.

Los calculos de Factor de enriquecimiento e índice de geoacumulación, no se llevaron a cabo para cobalto y plomo, dado que las concentraciones de estos metales fueron

sobreestimadas en este estudio.

Dado el número de parámetros aquí analizados, se procedió a utilizar un análisis de componentes principales utilizando el paquete estadístico Statistica 6.0. Este tipo de análisis se empleó con la finalidad de agrupar elementos, áreas de altas concentraciones y algunos procesos físicos, que pudiesen explicar el comportamiento de los contenidos de los metales pesados en los sedimentos de los cuerpos de agua estudiados (Szefer *et al.*, 1995; Voutsinou-Taliadouri y Varnavas, 1995).

Tabla 2.3.- Intensidad de la contaminación de acuerdo al Índice de geo-acumulación (Müller, 1979).

I_{geo}	Clase	Intensidad de la contaminación
> 5	6	Muy fuertemente contaminada
4 - 5	5	Fuertemente a muy fuertemente contaminada
3 - 4	4	Fuertemente contaminada
2 - 3	3	Moderadamente a Fuertemente contaminada
1 - 2	2	Moderadamente contaminada
0 - 1	1	No contaminada a Moderadamente contaminada
< 0	0	No contaminada

La contribución de metales por el material particulado de las descargas de aguas municipales hacia los sedimentos de las zonas de estudio se estimó a través de un modelo conservativo de mezclado físico de dos componentes (Ravizzza y Bothner 1996). Este modelo asume dos extremos: (1) la concentración de los metales correspondiente a la descarga municipal, para lo cual se utilizó el valor encontrado por Soto-Jiménez (1998), y (2) la concentración regional, la cual fue considerada como la correspondiente al valor mínimo encontrado para Cu (estación MZ28), Fe y Zn

(estación MZ23). En el caso de los metales restantes, no se aplicó el modelo dado que sus concentraciones en los sedimentos de la Bahía de Mazatlán fue mayor a la encontrada por Soto-Jiménez (1998), debido a la existencia de otros procesos que están involucrados en el comportamiento geoquímico de dichos metales, o a que se presentan otras fuentes de aporte de los mismos, que, como se ha mencionado con anterioridad, intervienen en la distribución de las concentraciones de estos elementos en los sedimentos.

Para el cálculo del componente relacionado con la descarga para cada metal se asume que:

$$x C_{br} + y C_{des} = C_{sed} \quad (3)$$

$$x + y = 1 \quad (4)$$

donde, C_{br} es la concentración básica o de referencia de los metales pesados en el sedimento; C_{des} es la concentración del metal correspondiente a la descarga de aguas municipales; C_{sed} es la concentración del metal en la muestra de sedimento; x es la fracción de masa del sedimento con la concentración base regional; e y es la fracción de masa del sedimento que representa el componente de la concentración asociado a la descarga de los emisores. Una vez que se combinan las fórmulas 3 y 4, se obtiene:

$$\frac{C_{sed} - C_{br}}{C_{des} - C_{br}} (100) = y \quad (5)$$

CAPITULO 3

Características granulométricas, mineralógicas y geoquímicas de los sedimentos de la Bahía de Mazatlán

3.1 Granulometría

Los sedimentos que se presentaron en esta zona de estudio fueron predominantemente arenas y arenas limosas, según la clasificación de Shepard (1973) (Tabla 3.1; Anexo I). En la estación 23, asociada al emisor de aguas negras (Fig. 3.1), el sedimento se compuso del 94 % de arenas y sólo del 3 % de limo y arcillas respectivamente. La estación 24, cercana a la costa frente al Cerro del Vigía, contuvo la mayor cantidad de arcilla (10 %), mientras que las fracciones limosa y arenosa fueron comparables (47 y 43 %, respectivamente). Lo anterior es reflejo de la alta energía que, en general, existe en la zona, la cual no permite el asentamiento de partículas más finas.

La capacidad de los sedimentos finos, principalmente las arcillas, para atraer iones metálicos, ha sido enfatizada por diversos autores (Horowitz y Elrick, 1987; Loring, 1990; Tam y Yao, 1998), de tal forma que se reconoce una correlación inversa entre tamaño de las partículas sedimentarias y la concentración de metales pesados asociada a ellas (Palanquez y Diaz, 1994); es decir, entre más pequeña sea la partícula, mayor probabilidad existe de encontrar concentraciones altas de metales. Sin embargo, en el caso de los sedimentos colectados en la Bahía de Mazatlán, la concentración de finos (limos más arcillas) únicamente se correlacionó significativamente ($P < 0.01$) con Li y Zn ($r = 0.55$ y 0.47 , respectivamente).

Con relación a los otros metales, no es tan claro que la granulometría sea el principal factor incidente en los procesos de adsorción y desadsorción, sin embargo, la tendencia (sin llegar a ser estadísticamente significativa) es la misma que el Li y el Zn (Tabla 3.2).

Por otro lado, existió una correlación inversa entre la cantidad de material fino y el contenido de carbonato de calcio ($r = -0.37$; $P < 0.05$), lo cual sugiere que el carbonato

está asociado, principalmente, con la fracción arenosa, en la que la cantidad de componentes biogénicos es mayor.

Tabla 3.1.- Promedio, desviación estándar, máximo y mínimo de las concentraciones de sedimento fino, minerales arcillosos, carbonatos, carbono orgánico y metales totales en sedimentos superficiales de la Bahía de Mazatlán.

	Promedio	Desv. Están.	Máximo	Mínimo
< 62 μm (%)	24.2	14.2	53.3	5.5
Montmorillonita (%)	6.2	4.5	16.5	0.7
Illita (%)	40.3	13.8	73.1	24.4
Caolinita (%)	53.5	11.9	66.3	25.7
Carbonatos (%)	17.4	21.7	86.4	1.1
C-orgánico (%)	0.3	0.2	1.2	0.1
Al (%)	6.9	1.9	8.9	0.4
Cd (ppm)	3.2	0.5	4.0	2.2
Co (ppm)	40.3	7.3	48.8	18.8
Cr (ppm)	31.0	7.2	46.5	10.6
Cu (ppm)	6.3	3.1	16.5	2.5
Fe (%)	2.6	0.7	3.5	0.3
Li (ppm)	7.5	1.9	10.3	1.5
Mn (ppm)	569	132	800	230
Ni (ppm)	23.1	6.6	36.0	13.5
Pb (ppm)	64.2	17.2	100.8	33.4
Zn (ppm)	82.2	19.8	122.4	19.6

3.2 Mineralogía de la fracción arcillosa de los sedimentos

En general, el porcentaje de montmorillonita en relación con los otros minerales

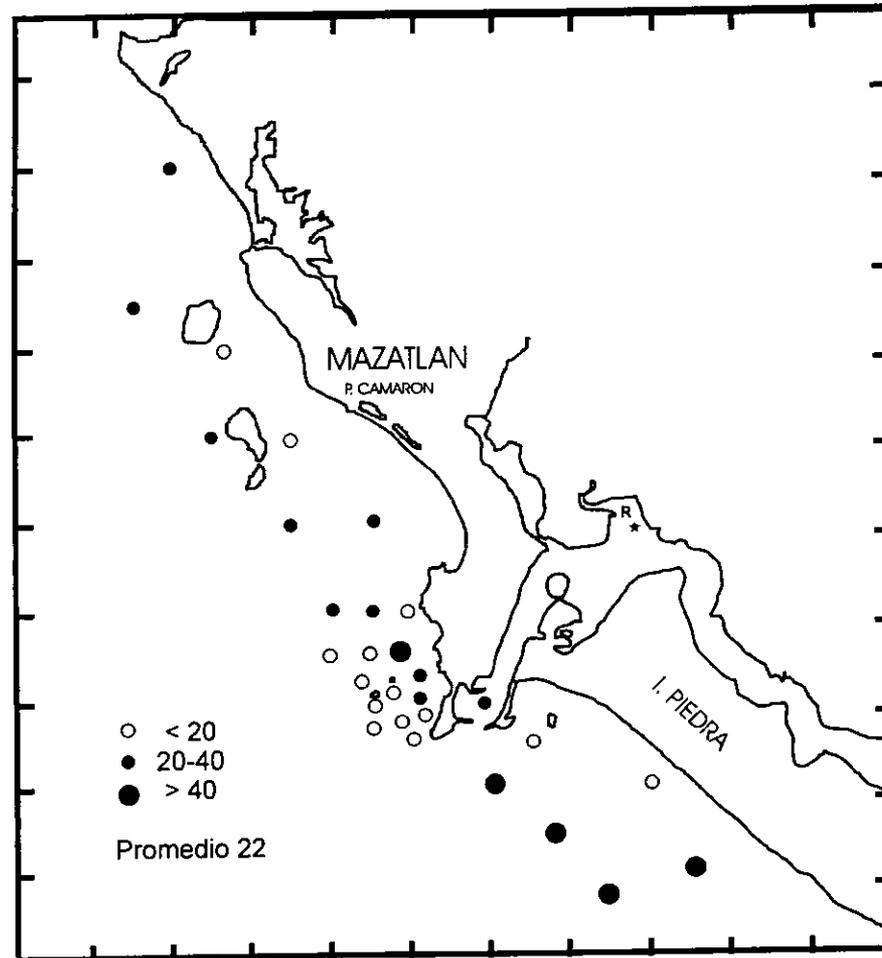


Fig. 3.1.- Distribución del porcentaje de sedimentos finos.

Tabla 3.2.- Matriz de los coeficientes de correlación de los parámetros determinados en sedimentos superficiales de la Bahía de Mazatlán.

	Illita	Caol.	CO ₃ ⁼	C-org	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Zn
Finos	-0.53	0.56	-0.37*	0.43*							0.55				0.47
Mont.	-0.55				0.52	0.38*	0.70			0.54		-0.40*		-0.65	0.51
Illita		-0.95	0.37*		-0.46*		-0.43*	-0.40*	-0.40*	-0.45*	-0.62		-0.44*		-0.68
Caol.			-0.38*	0.43*					-0.40*		0.59		0.43*		0.60
CO ₃ ⁻					-0.63		-0.62	-0.40*		-0.62	-0.73	-0.40*	-0.41*		-0.66
C-org						0.42*			0.87						
Al							0.83	0.64		0.87	0.78	0.69			0.82
Cd									0.58						
Co								0.56		0.86	0.72	0.67	0.38*		0.72
Cr										0.80	0.57	0.83			0.65
Cu															0.38*
Fe											0.72	0.85			0.80
Li												0.61			0.88
Mn															0.57
Ni														-0.43*	

* P < 0.05 , el resto en P < 0.01. Verificado por una prueba de "t" de student's.

correspondientes a la fracción arcillosa ($< 2 \mu\text{m}$) de los sedimentos de la Bahía de Mazatlán, fue bajo (0.7 a 16.5 %) (Tabla 3.1), con un promedio de $6.2 \pm 4.5 \%$ (Fig. 3.2a). Seguido en abundancia relativa por la illita, la cual presentó un promedio alto ($40.3 \pm 13.8 \%$), oscilando entre 24.4 y 73.1 % (Fig. 3.2b). El mineral más abundante en dicha fracción fue la caolinita, el cual presentó un valor promedio de $53.5 \pm 11.9 \%$, un mínimo de 25.7 % y un máximo de 66.3 % (Fig. 3.3a).

De acuerdo con diversos autores (Biscaye 1965; Chester, 1990; Pandarinath y Narayana, 1992), la formación de caolinita es característica de un intenso intemperismo químico en la zona tropical, por lo que su abundancia está regida principalmente por las condiciones climatológicas inherentes a la latitud de la región estudiada. Por otro lado, se ha enfatizado el origen continental de la illita, sin mayores restricciones en cuanto a la latitud, pero sí en relación al efecto de dilución provocado por la caolinita en latitudes bajas y por clorita en latitudes altas. Este fenómeno explica la alta correlación inversa entre illita y caolinita en los sedimentos de la Bahía de Mazatlán ($r = -0.95$).

Las distribuciones espaciales de la caolinita e illita sugieren que existe una floculación y asentamiento diferencial entre estos minerales a partir de su fuente de aporte (estero de Urias y corriente litoral), tal como lo observaron Fernández Caliani *et al.* (1997) en el estero de Huelva, España. Según Weaver (1989), la caolinita se sedimenta preferentemente en los sedimentos estuarinos, por lo que la relación illita/caolinita se incrementa hacia mar adentro, indicando el transporte y la dispersión efectivos de la illita e identificando consecuentemente las rutas de entrada de sedimentos suspendidos. En el caso de la zona de estudio, aun cuando se analizaron sólo sedimentos marinos, se puede observar un aumento de dicha relación desde la estación MZ20 (en el extremo noroeste) hacia la Isla de Venados (estación MZ16), donde la relación es mayor a la unidad (illita/caolinita = 1.63), indicando un aporte de material terrígeno desde el noroeste, el cual es transportado hacia el sureste durante el invierno, de acuerdo al patrón de corrientes existente en la región (Montaño-Ley, 1985). Asimismo, se presenta un incremento gradual hacia mar adentro en el área central, desde la estación MZ6 y MZ26 hasta las estaciones MZ22, MZ9 y MZ10 (Fig. 3.3b).

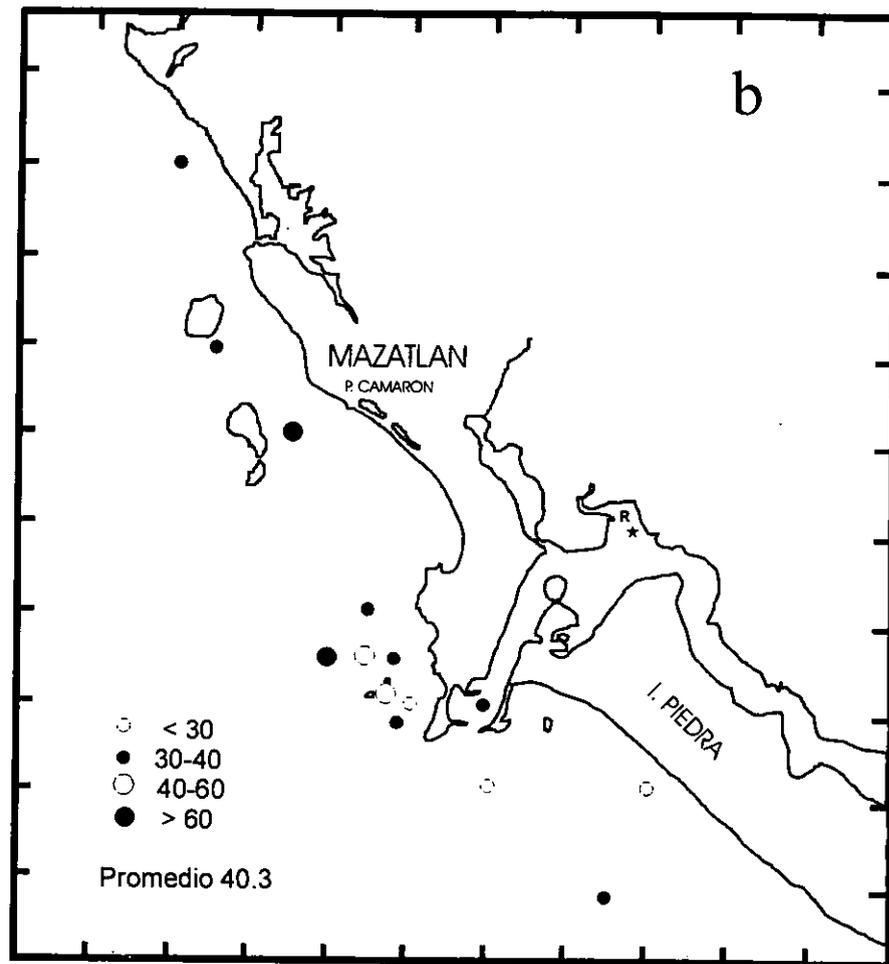
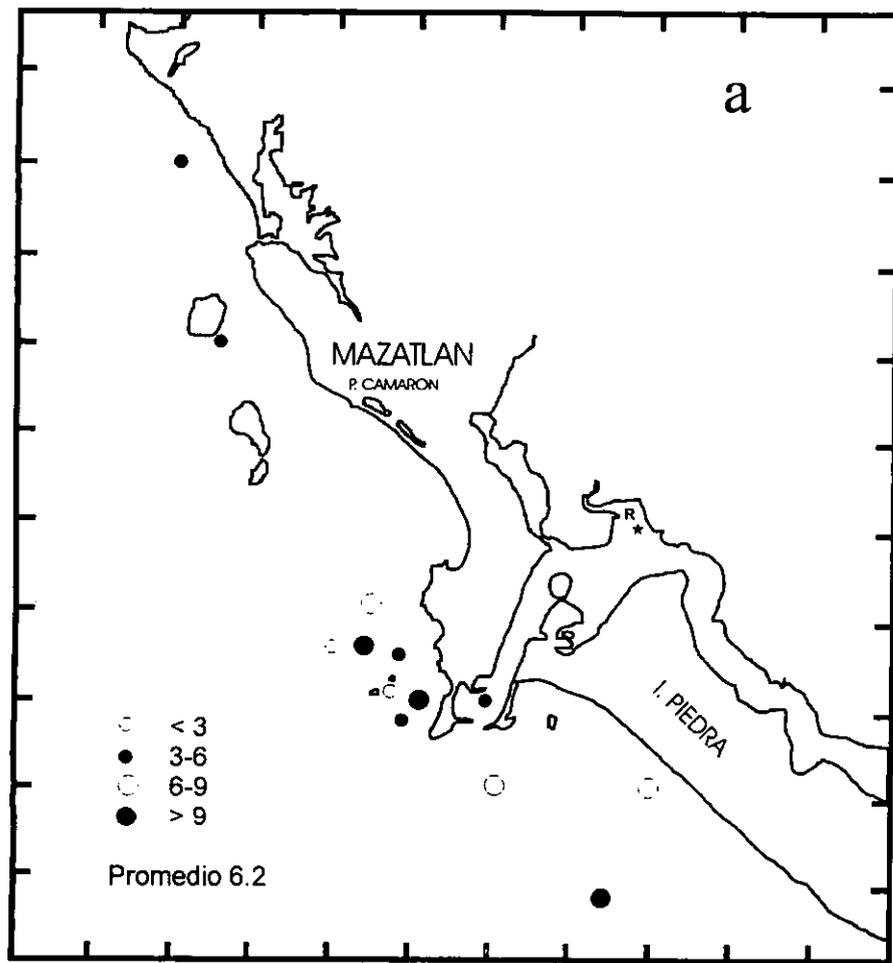


Fig. 3.2.- Distribución del porcentaje de a) montmorillonita y b) illita

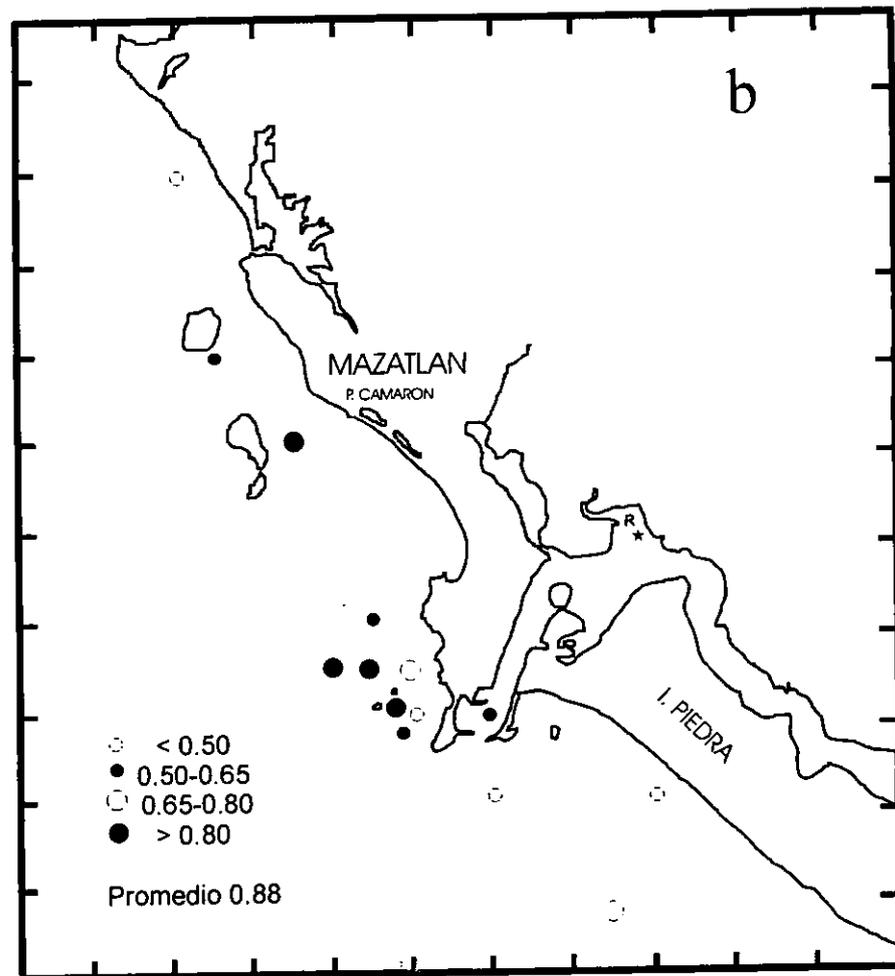
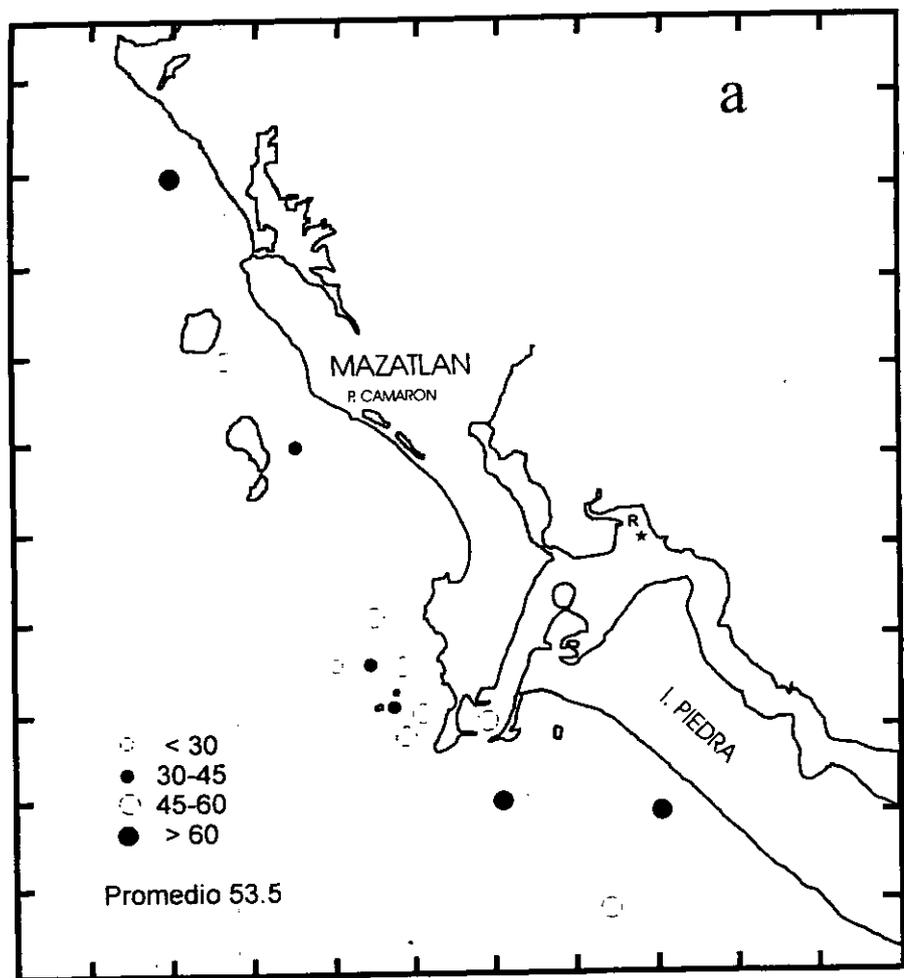


Fig. 3.3.- Distribución del porcentaje de a) caolinita y b) relacion illita/caolinita

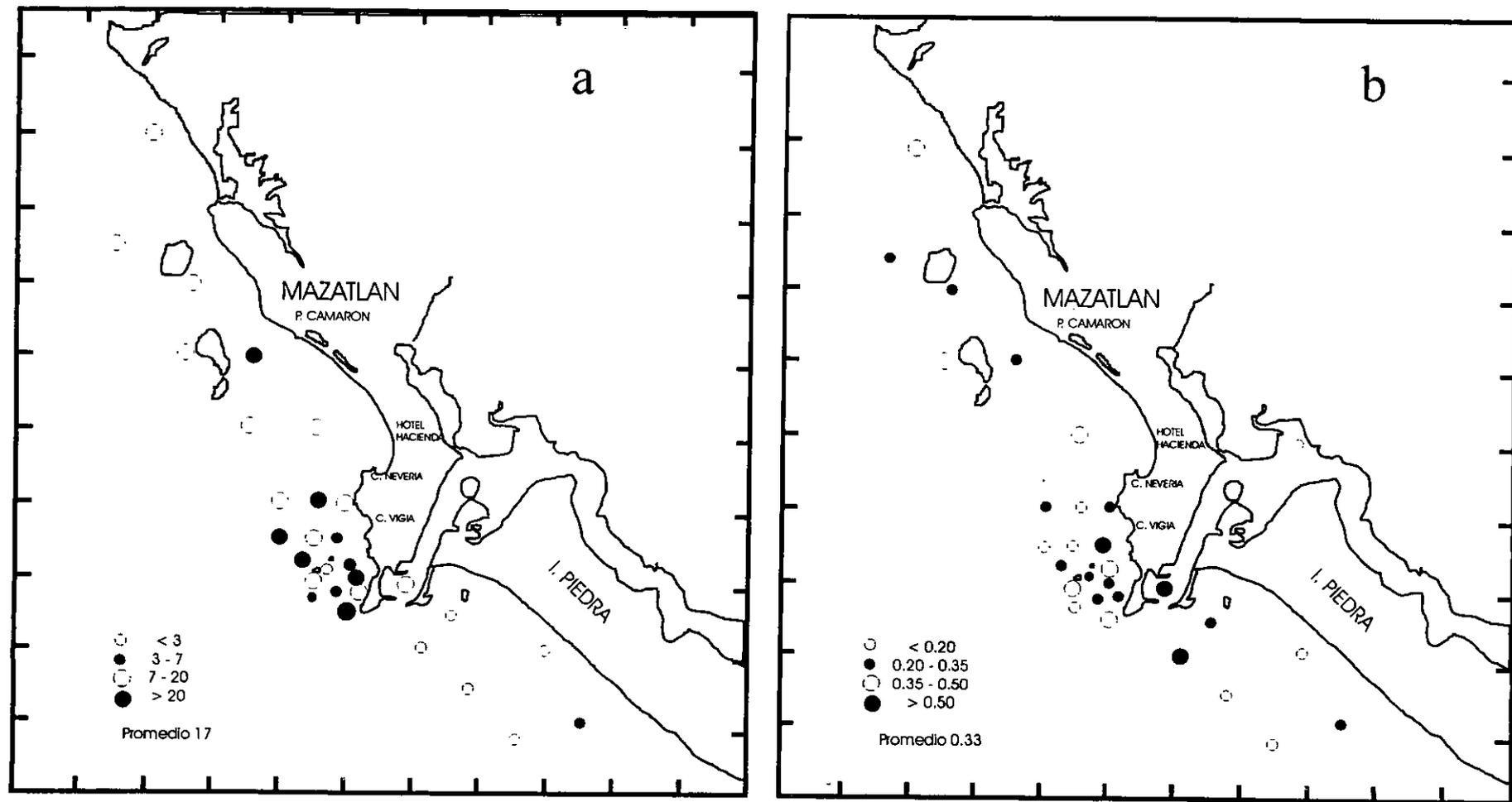


Fig. 3.4.- Distribución del porcentaje de a) carbonatos y b) carbono orgánico.

En el caso de la Bahía de Mazatlán, no hubo presencia de clorita, posiblemente debido al carácter tropical de esta zona. La ausencia de este mineral y la dominancia de la abundancia relativa de caolinita respecto a illita y montmorillonita ha sido observada también en lagunas del Pacífico mexicano (Páez-Osuna *et al.*, 1983; Páez-Osuna *et al.*, 1984).

3.3 Análisis geoquímico

3.3.1 Carbonatos

El contenido de carbonatos en los sedimentos superficiales varió desde 1.1 hasta 86.4 %, con un promedio de 17.4 ± 21.7) (Tabla 3.1; Anexo II). Valores con más del 50 % de carbonatos se encontraron en las estaciones 23, 16 y 12 (Fig. 3.4a). El área de estudio se puede dividir de acuerdo a las concentraciones de carbonatos en dos subregiones (a) a partir de la zona del emisor hacia el norte, con los mayores porcentajes (> 5 %) y, (b) hacia el sur, con contenidos menores a 5 %. La fracción carbonatada de los sedimentos principalmente proviene de restos de bivalvos. De hecho, existe actividad ostrícola ribereña en la subregión norte.

3.3.2 Carbono orgánico

La concentración promedio de carbono orgánico en los sedimentos superficiales fue de 0.33 ± 0.23 % y los valores oscilaron entre 0.06 y 1.2 % (Tabla 3.1, Anexo II). Los mayores contenidos se encontraron en las estaciones 4, 24 y 30 (Fig. 3.4b). La estación 24 tuvo el mayor porcentaje de sedimentos finos (limos y arcillas), con los cuales el material orgánico está asociado, como lo constata su correlación significativa ($r = 0.43$; $P < 0.05$) (Tabla 3.2). Cabe mencionar que dicha estación está localizada relativamente cerca de la descarga del emisor de la planta de tratamiento de las aguas municipales, donde se presentan mareas rojas a lo largo del año (Alonso-Rodríguez, 1998). Méndez y Green (1998) obtuvieron un coeficiente de correlación similar ($r = 0.403$; $p < 0.01$) al

analizar 60 muestras (31 más que en este trabajo) de sedimentos en la Bahía de Mazatlán.

Las estaciones MZ4 y MZ30 reflejaron el aporte de material orgánico desde el interior del estero de Urías. Lo cual se ve reforzado con el comportamiento de carbono orgánico observado por Soto-Jiménez (1998), quien encontró un gradiente en la concentración de carbono orgánico desde la cabeza del estero hacia la boca del mismo (Fig. 3.5). Páez-Osuna *et al.* (1990) observaron una exportación neta de 25-128 toneladas de material suspendido para un período de marea de 13.2 h, a través del cual el carbono orgánico es transportado hacia el exterior.

3.3.3 Metales

3.3.3.1 Distribución de los metales en los sedimentos superficiales

En la tabla 3.1 se presentan, en forma resumida, las concentraciones totales promedio, su desviación estándar, el máximo y mínimo valor obtenido de cada uno de los metales estudiados en los sedimentos superficiales de la Bahía de Mazatlán, mientras que los valores nominales para cada estación se muestran en el anexo III. Asimismo, los coeficientes de correlación entre el porcentaje de sedimento fino, minerales arcillosos, carbonatos, carbono orgánico y los contenidos totales de los metales se pueden observar en la tabla 3.2.

Los datos correspondientes a los factores de enriquecimiento utilizando Li como elemento de referencia y el índice de geoacumulación están contenidos en la tabla 3.3, y en los anexos IV y V, respectivamente.

Aluminio

La concentración de Al en los sedimentos superficiales de este cuerpo de agua varió entre 0.4 y 8.9 %, con un promedio de 6.9 ± 1.9 %. Las mayores concentraciones se

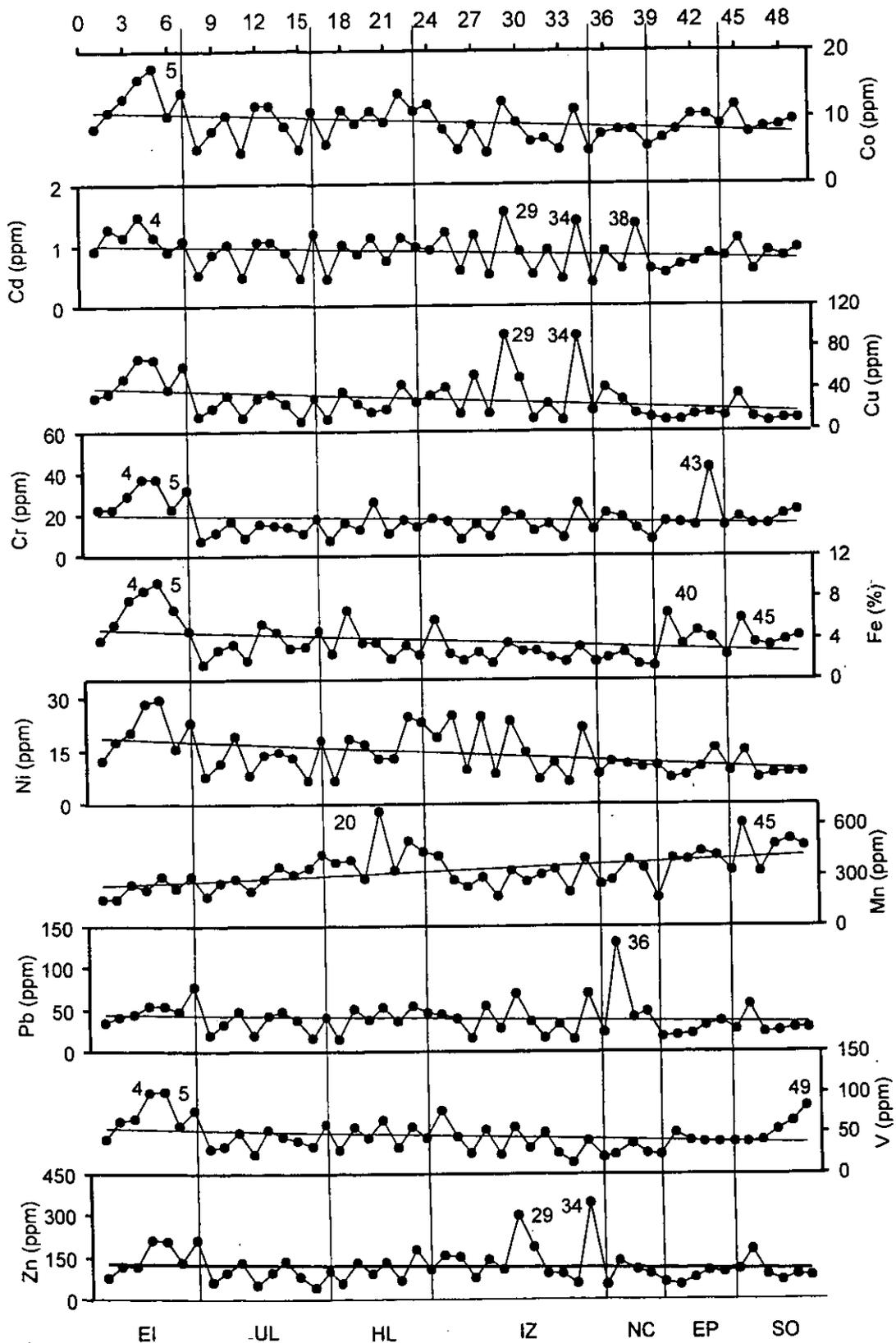


Fig. 3.5.- Comportamiento de los metales pesados a lo largo del estero de Urías, Mazatlán (Tomado de Soto-Jiménez, 1998). EI = Estero del Infiernillo, UL = Laguna Superior, HL = Cabeza Lagunar, IZ = Zona Industrial, NC = Canal de Navegación, EP = Entrada del Puerto, SO = Emisor de aguas municipales.

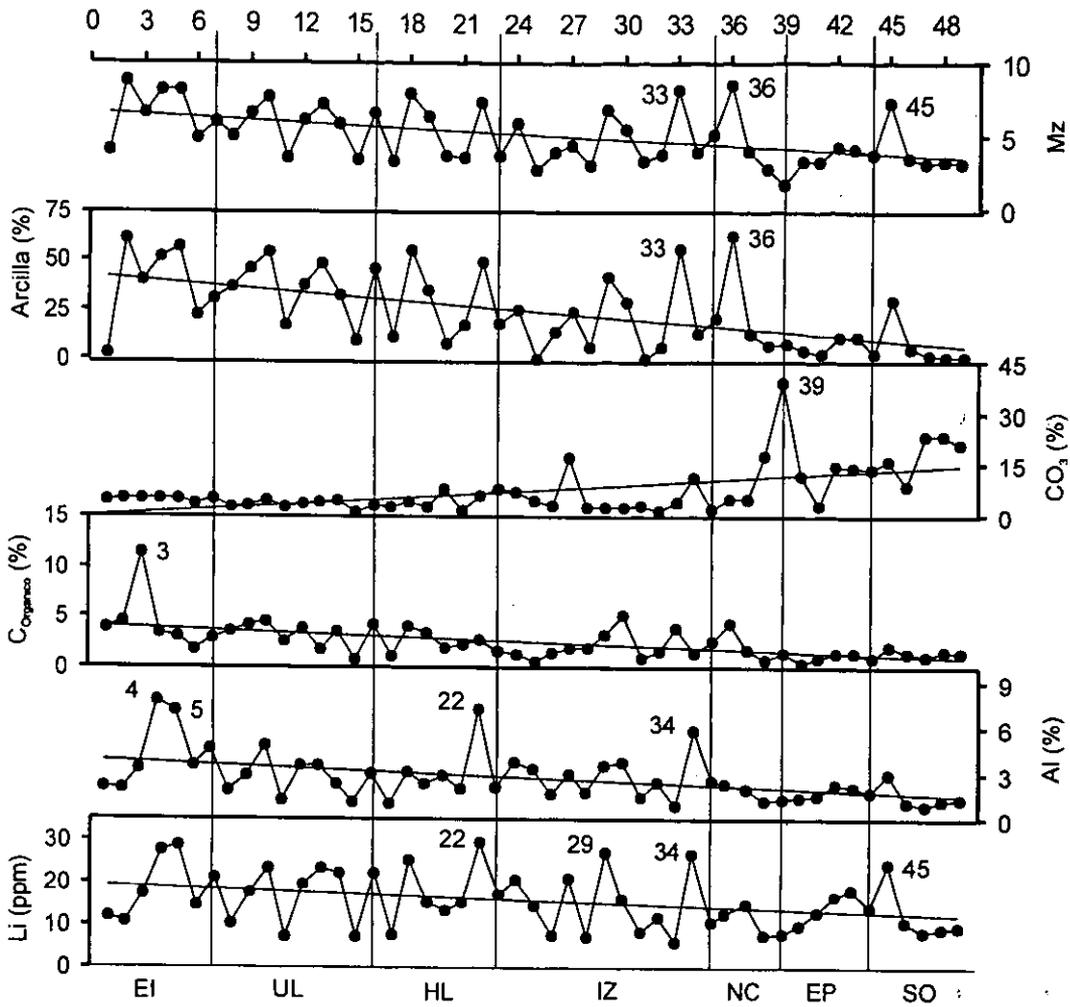


Fig. 3.5.- (Cont.) Comportamiento de los metales pesados a lo largo del estero de Uriás, Mazatlán (Tomado de Soto-Jiménez, 1998). EI = Estero del Infiernillo, UL = Laguna Superior, HL = Cabeza Lagunar, IZ = Zona Industrial, NC = Canal de Navegación, EP = Entrada del Puerto, SO = Emisor de aguas municipales.

ubicaron en la boca del estero de Urías (MZ4), al sureste de dicha boca (MZ1 y MZ2), y al noroeste (MZ9, MZ12 y MZ13). Soto-Jiménez (1998) observó valores < 5 % en el interior del estero de Urías, con algunos puntos con mayor contenido de este metal, asociados con zonas de mayor aporte de terrígenos.

Tabla 3.3.- Factores de enriquecimiento, empleando Li (FE_{Li}) como elementos de referencia e índice de geoacumulación (I_{geo}) de los sedimentos superficiales de la Bahía de Mazatlán.

	FE_{Li}	I_{geo}
Cd	---	4.4 ± 0.2
Cr	1.3 ± 0.4	-2.3 ± 0.4
Cu	---	-3.7 ± 0.6
Fe	2.2 ± 0.5	-1.6 ± 0.8
Mn	2.4 ± 0.7	-1.4 ± 0.4
Ni	---	-2.3 ± 0.4
Zn	4.2 ± 0.5	-0.6 ± 0.5

--- No calculados debido a que no se correlacionaron significativamente con y Li.

Valores considerablemente bajos se determinaron en las estaciones MZ23 (0.4 ppm), cerca de la descarga del emisor de aguas negras de la Ciudad de Mazatlán y MZ16 (1.6 ppm), entre la Isla de Venados y el macizo continental (Fig. 3.6), donde se presentan altos porcentajes de material carbonatado, el cual enmascara el contenido de este metal, como lo sugiere la correlación inversa ($r = -0.63$; $P < 0.01$) existente entre los carbonatos y la concentración de Al.

Los valores obtenidos para Al se correlacionaron significativamente ($P < 0.01$) con aquellos obtenidos para el hierro ($r = 0.87$) y el manganeso ($r = 0.69$), evidenciando su asociación con los óxidos de estos metales; asimismo se correlacionaron con los de Co

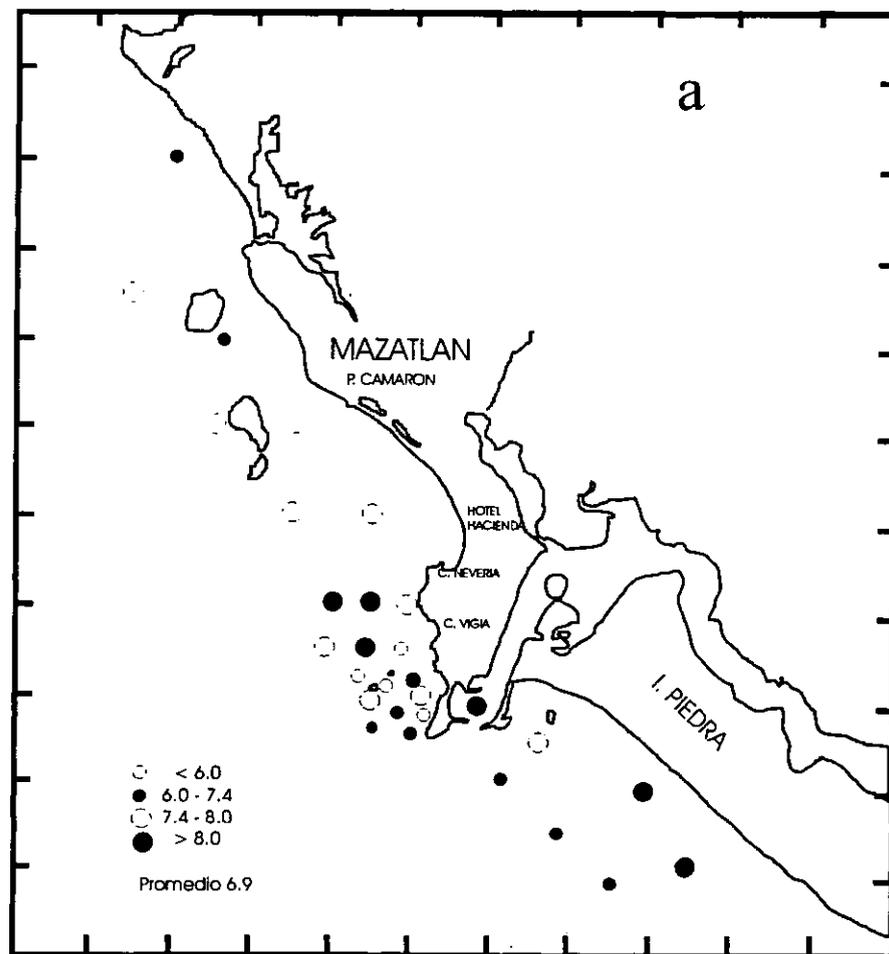


Fig. 3.6.- Distribución de la concentración de Al (%).

($r = 0.83$), Cr ($r = 0.64$), Li ($r = 0.78$) y Zn ($r = 0.79$).

Por otro lado, los minerales arcillosos se caracterizan por una gran área superficial por unidad de masa, lo cual se considera la principal razón para el enriquecimiento de metales en las arcillas (Pandarinath y Narayana, 1992). En el caso de la Bahía de Mazatlán, el contenido de Al se correlacionó con la montmorillonita ($r = 0.52$), lo que podía esperarse debido a la composición de este mineral ($(\text{Si}_4\text{O}_{10})_3(\text{Al}, \text{Mg})_8(\text{OH})_{10}$).

Se ha sugerido la normalización de las concentraciones de metales en los sedimentos para corregir los efectos provocados por la variabilidad granulométrica y mineralógica de los mismos, empleando para ello elementos "de referencia" como el aluminio (Carruesco y Lapaquellerie, 1985; Schropp *et al.*, 1990; Din, 1992; Andrews *et al.*, 1999) y el litio (Loring, 1990; Green-Ruiz, 1996; Soto-Jiménez, 1998). Por esta razón se determinaron las concentraciones de estos dos metales en los sedimentos de este puerto, observándose en la figura 3.7 la correlación entre ellos ($r = 0.78$). Sin embargo, debido a que la concentración de aluminio en los sedimentos de la Bahía de Mazatlán no se correlacionó con el contenido de sedimento fino, lo cual es un requisito importante para llevar a cabo la normalización, se decidió no calcular los factores de enriquecimiento de los metales con este elemento de referencia.

Cadmio

La concentración promedio de Cd en los sedimentos superficiales fue de 3.18 ± 0.46 ppm, variando en un intervalo que va de 2.18 a 4.03 ppm. Los valores más altos se localizaron relativamente cerca del emisor de aguas residuales de la Ciudad de Mazatlán (estaciones 5, 6, 11, 23, 24 y 25); sin embargo, también existieron valores bajos en esta zona (Fig. 3.8a). Al parecer, en esta región entran en juego el aporte de este metal por las aguas residuales y el efecto de dilución que producen los altos porcentajes de carbonatos.

Lo anterior se explica al observar los valores de carbono orgánico de las muestras

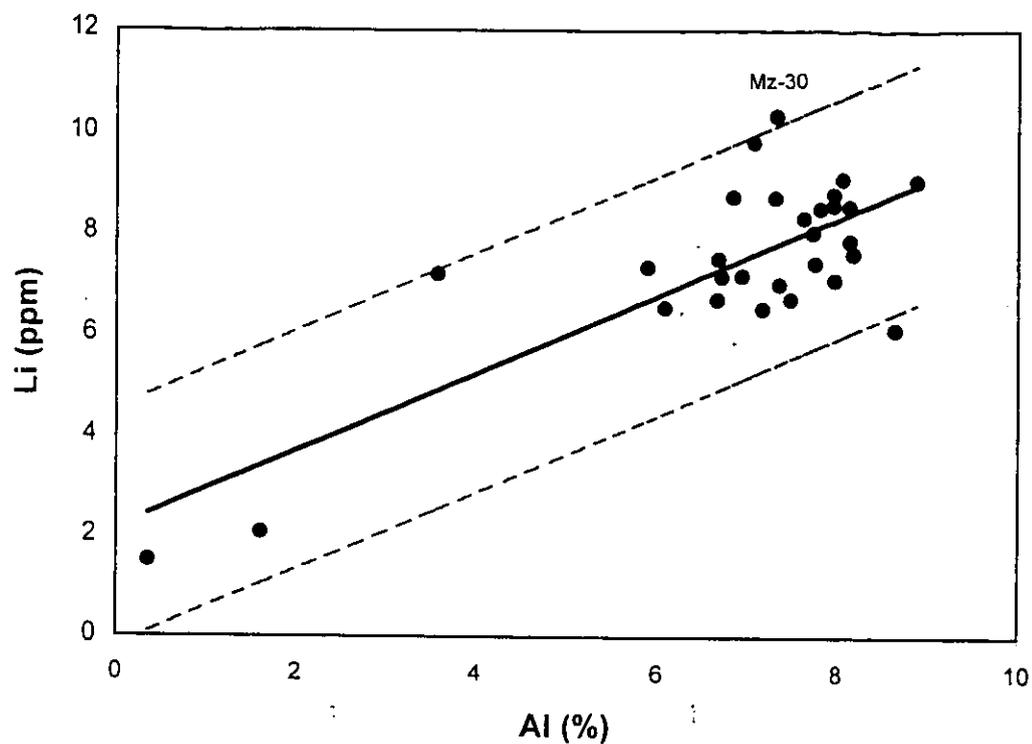


Fig. 3.7 Concentración de Li contra Al. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

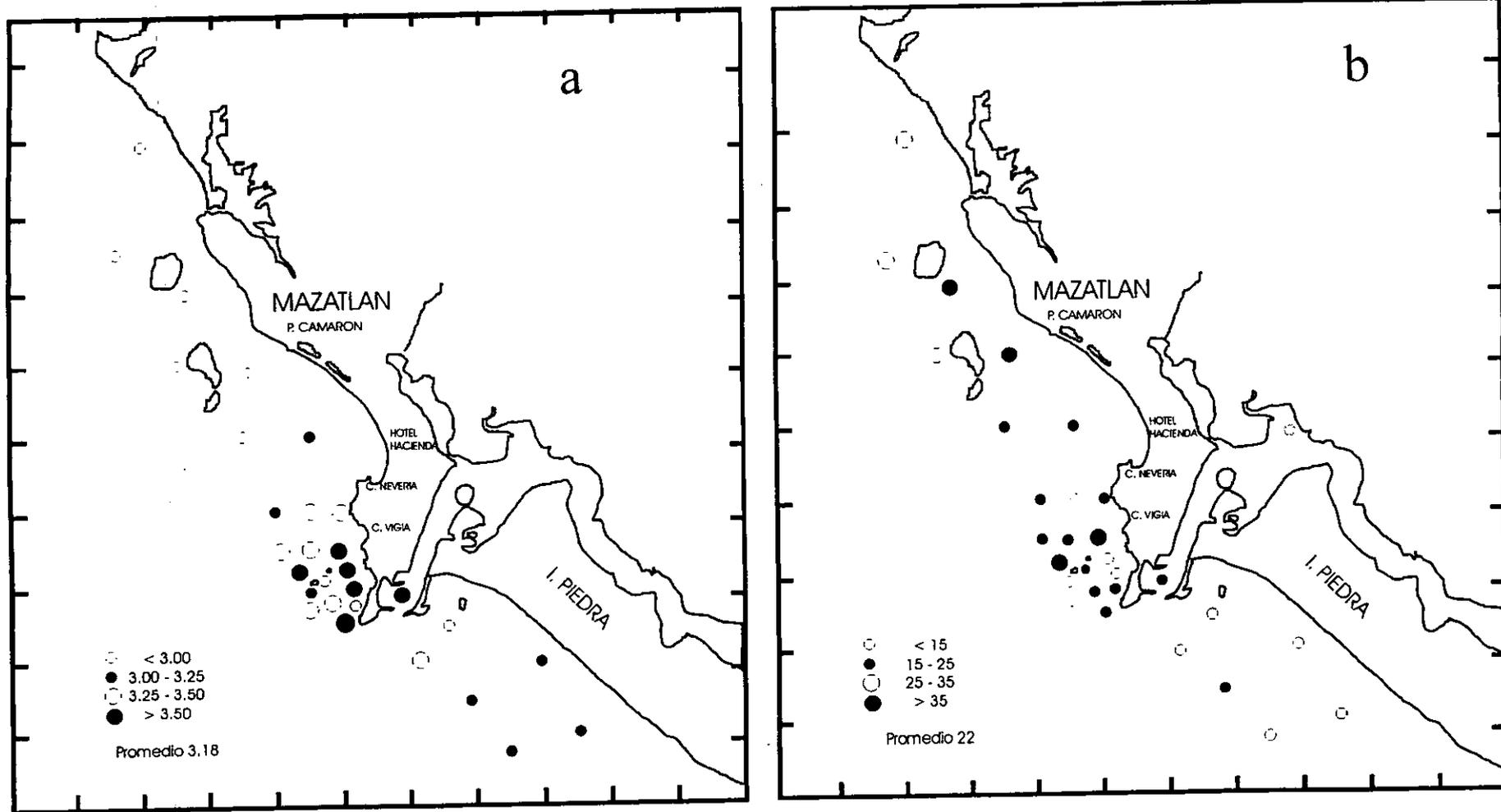


Fig. 3.8.- Distribución de a) la concentración de Cd (ppm) y b) el porcentaje biodisponible de Cd (%).

obtenidas en las estaciones correspondientes, quedando claro que la cantidad de material orgánico es un factor importante en el proceso de adsorción de cadmio, lo cual se fortalece al efectuar el análisis de correlación, cuyo coeficiente ($r = 0.42$) es significativo al 95 % ($p < 0.05$). Osuna-López *et al.* (1989) analizaron la concentración de Cd en muestras de agua del estero de Urías, encontrando también que el contenido de este metal presentó una buena correlación con la concentración orgánica del material particulado ($r = 0.86$, $p < 0.05$).

González *et al.* (1991) mencionan que el aporte de Cd particulado puede estar ligado a un proceso metabólico del fitoplancton; en tanto que, Segovia-Zavala *et al.* (1998) encontraron una buena asociación entre las altas concentraciones de Cd en agua y una alta biomasa fitoplanctónica. Esta hipótesis podría explicar como una parte del Cd encontrado en los sedimentos está relacionado con el carbono orgánico, aún cuando otros elementos no lo hagan. Conclusiones similares obtuvieron Schmidt y Reimers (1991) en la cuenca de Santa Barbara, California. De acuerdo con Mee *et al.* (1984), citado por Alonso-Rodríguez *et al.* (2000), la Bahía de Mazatlán está influenciada, durante el invierno, por surgencias esporádicas inducidas por el viento, lo cual propicia un incremento en la biomasa correspondiente al fitoplancton.

Undabeytia *et al.* (1998) realizaron un experimento utilizando diferentes concentraciones de Cd disuelto y de montmorillonita, observando que al incrementar la concentración del mineral arcilloso, aumentaba el porcentaje de metal absorbido. En el caso de los sedimentos de esta zona de estudio, el contenido de Cd se correlacionó significativamente con la montmorillinta ($r = 0.38$), demostrando que, efectivamente, este grupo mineral tiene afinidad por el Cd.

Asimismo, se observó un valor alto en la boca del puerto (estación MZ4), en tanto que en el interior del estero de Urías se observaron valores bajos (< 1.0 ppm) (Soto-Jiménez, 1998), lo cual significa que el aporte de cadmio desde el interior del estero es insignificante, comparado con otras fuentes, como pueden ser las aguas residuales y el aporte a través de surgencias. Al respecto, Sañudo-Wilhelmy y Flegal (1991, 1996),

citados por Segovia-Zavala *et al.* (1998), estiman que las surgencias son una fuente importante de Cd. Estos últimos autores analizaron muestras de agua marina en la frontera México-California y observaron que las altas concentraciones de Cd se asociaron a altos niveles de nutrientes y a bajas temperaturas, características propias de las zonas de surgencias.

Este metal no se correlacionó significativamente con el aluminio ni el litio, por lo que la normalización y el cálculo de los factores de enriquecimiento no se pudieron llevar a cabo. Sin embargo, al efectuar un análisis de regresión lineal se observó que la estación 23, ubicada en la zona de la descarga del emisor de aguas municipales, posee una cantidad de cadmio ligeramente mayor a la esperada de acuerdo con su contenido de carbono orgánico (Fig. 3.9). De acuerdo a Förstner y Wittmann (1979), el Cd es uno de los principales componentes metálicos de las aguas municipales.

Sólo este metal presentó valores del índice de geoacumulación (Müller, 1979) mayores a la unidad, con un promedio de 4.4 (fuertemente a muy fuertemente contaminado). Lo anterior puede ser el resultado de los aportes naturales provocados por las surgencias que ocurren en la zona de estudio.

La concentración de Cd, Cu, Fe, Pb y Zn en la denominada fase potencialmente biodisponible de los sedimentos fue analizada y su relación porcentual con respecto a la concentración total del correspondiente metal se presenta en el anexo VI, en tanto que de forma resumida, en la tabla 3.4, se muestran los promedios, desviación estándar, máximos y mínimos de cada metal. Asimismo, la correlación entre estas variables y los otros parámetros se presentan en la tabla 3.5.

En promedio, el porcentaje de Cd biodisponible es de 22.4 ± 10.6 %, respecto al contenido total de este metal en los sedimentos de la Bahía de Mazatlán. Las proporciones oscilaron entre 9.9 y 52.5 %. Los máximos valores (Fig. 3. 8b) se ubicaron en las estaciones con mayor contenido de carbonatos (MZ16 y MZ23), con el cual la fracción biodisponible de este metal estuvo significativamente asociada ($r = 0.56$).

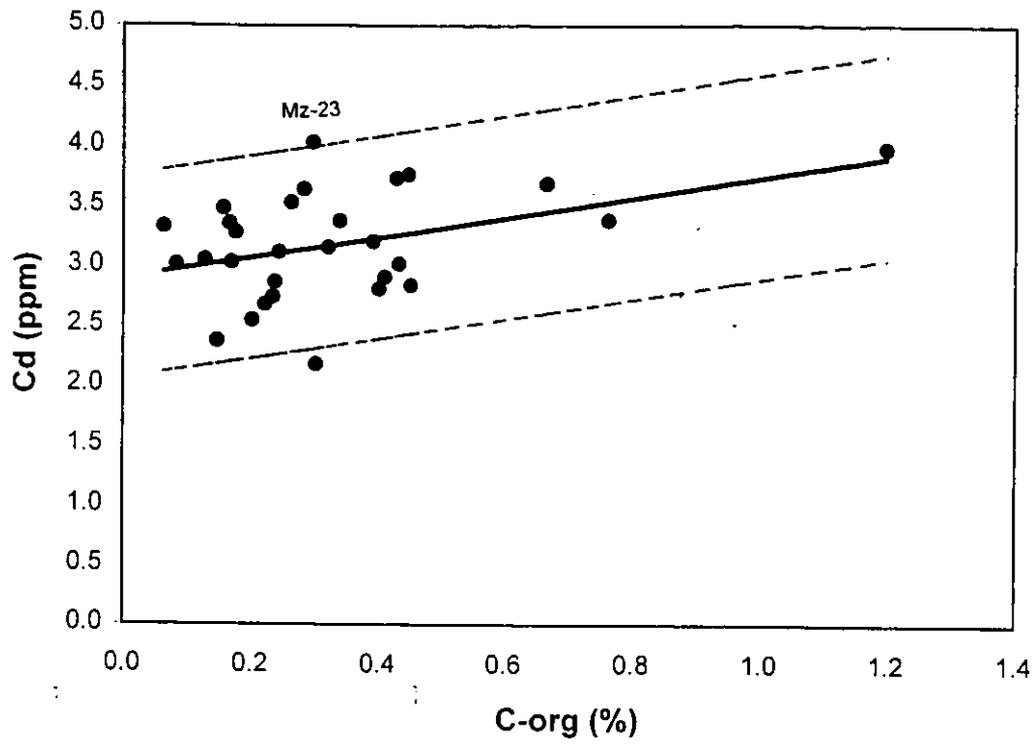


Fig. 3.9.- Concentración de Cd contra C orgánico. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar),

Asimismo, existen correlaciones inversas entre esta proporción y los contenidos totales de Al, Fe, Li y Mn, como producto de la misma correlación inversa entre dichos metales y los carbonatos.

Tabla 3.4.- Promedio, desviación estándar, máximo y mínimo de las proporciones (%) de la concentración potencialmente biodisponible, con respecto al contenido total de metales pesados, en sedimentos superficiales de la Bahía de Mazatlán.

	BioCd	BioCu	BioFe	BioPb	BioZn
Promedio	22.4	32.2	10.5	34.9	17.6
Desviación estándar	10.6	15.2	9.5	11.2	4.2
Máximo	52.5	71.8	46.1	67.0	28.8
Mínimo	9.9	18.0	6.0	17.4	9.7

Cobalto

Las concentraciones de cobalto en los sedimentos superficiales de este cuerpo de agua oscilaron entre 18.8 y 48.8 ppm, con un promedio de 40.3 ± 7.26 . Los contenidos más altos se ubicaron hacia la parte centro y sur de la zona de estudio, en tanto que las menores se localizan hacia la región norte (Fig. 3.10). De acuerdo con Soto-Jiménez (1998), en el interior del estero de Urías se encontraron concentraciones de cobalto menores a 10 ppm, lo que sugiere que el transporte de este metal desde dicho cuerpo de agua hacia la bahía no es significativo (Fig. 3.5).

Las estaciones MZ16 y MZ23 con grandes cantidades de carbonatos (76.7 y 86.4 %, respectivamente) presentaron las menores concentraciones de cobalto (18.8 y 20.0 ppm, respectivamente). El posible aporte de este metal a partir de las descargas de aguas municipales ha sido documentado por Shriadah (1998) en el Golfo Arabe, así como por Förstner y Wittmann (1979), entre otros autores.

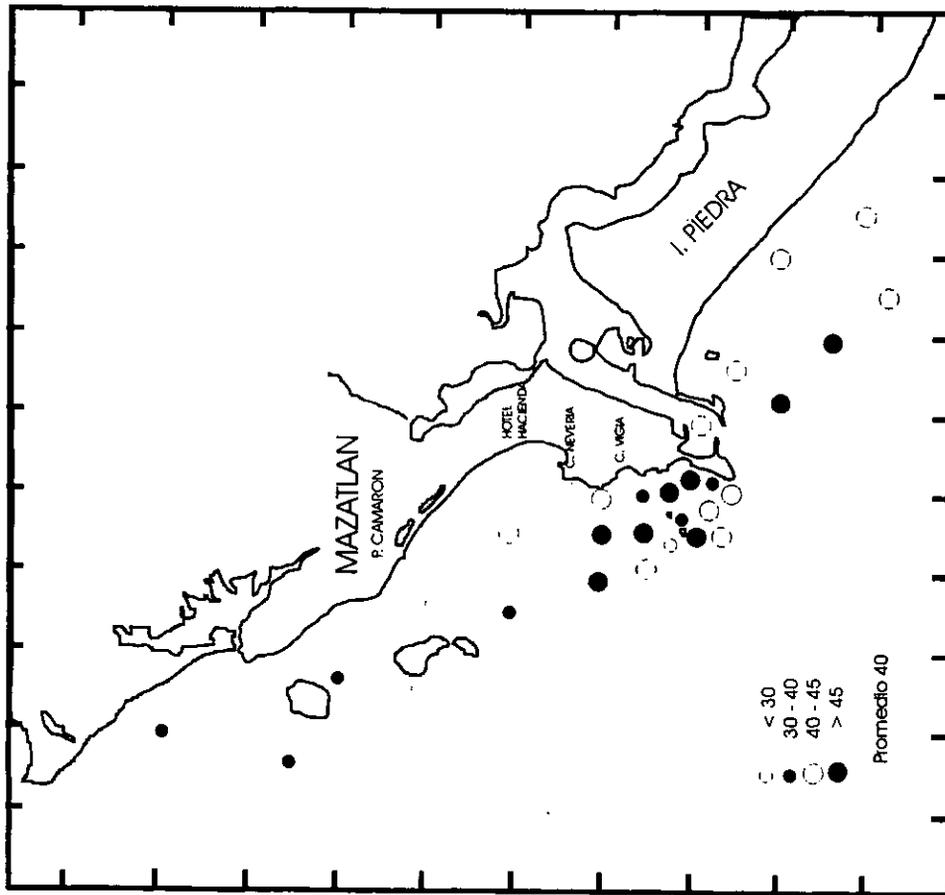


Fig. 3.10.- Distribución de la concentración de Co (ppm).

Tabla 3.5.- Matriz de los coeficientes de correlación de las concentraciones potencialmente biodisponible de metales y los parámetros determinados en sedimentos superficiales de la Bahía de Mazatlán (P < 0.01).

	Biocd	Biocu	Biofe	Biopb	Biozn
Al	-0.74	-0.62	-0.89		
Cd					0.49
Cu					0.63
Fe	-0.75	-0.57	-0.89		
Li	-0.58	-0.43*	-0.84		
Mn	-0.54	-0.57	-0.74		-0.57
Pb	0.52			-0.59	
Zn	-0.54	-0.40*	-0.82		
CO ₃ ⁼	0.56	0.40*	0.80		
C-org					0.58
BioCd		0.40*	0.69		
BioCu			0.63		0.49
BioPb					0.49

* P < 0.05

El cobalto se correlacionó significativamente (P < 0.01) con el aluminio, el hierro, el manganeso y la montmorillonita, evidenciando el papel importante que juegan los minerales del grupo de los aluminosilicatos y los óxidos de hierro y manganeso en el comportamiento geoquímico de dicho metal. Horowitz (1991) menciona que los minerales arcillosos pueden concentrar elementos "traza", debido a su capacidad de intercambio catiónico, la cual esta gobernada entre otros factores por la presencia de capas expandibles, característica principal de la montmorillonita. Sin embargo, Hodgson (1960) demostró que el proceso de adsorción de Co por la montmorillonita es dependiente del pH, aún cuando no menciona cual sea el valor optimo de pH para dicho

proceso. En la figura 3.11 se muestra la regresión lineal entre cobalto y los elementos de referencia: aluminio y litio, la cual no presenta ninguna anomalía.

Cromo

Los valores correspondientes al contenido de cromo en los sedimentos superficiales variaron desde 10.6 hasta 46.5 ppm, presentando un promedio de 31.0 ± 7.2 ppm. Las estaciones con mayor cantidad de este metal se localizaron en el costado de la Isla de Venados que da hacia el mar abierto (estación MZ17) y cerca de la Isla de Pájaros (estación MZ18) y hacia la zona del emisor (estaciones 6 y 25) (Fig. 3.12a). Similarmente al comportamiento de cobalto, las estaciones MZ16 y MZ23 tuvieron las más bajas concentraciones de cromo y al calcular el factor de enriquecimiento con litio y mostrar su distribución en un mapa (Fig. 3.12b), estas estaciones fueron las únicas que obtuvieron valores mayores a 2 (2.7 y 2.1, respectivamente). La relación de cromo con la descarga de aguas municipales ha sido señalada por Förstner y Wittmann (1979), Palanquez y Diaz (1994), Shriadah (1998) y Villaescusa-Celaya *et al.* (2000).

Asimismo, la correlación significativa que existe entre Al, Fe y Mn con el cromo sugiere que el comportamiento geoquímico del cromo está gobernado en gran parte por la presencia de óxidos de hierro y manganeso, así como por los aluminosilicatos. Esta relación también ha sido observada por Horowitz (1991).

Al efectuar la normalización propuesta por Szefer *et al.* (1996), se observa que la estación MZ18 posee un valor anómalo tanto al usar al aluminio como al emplear litio como elementos de referencia (Fig. 3.13), al tener una mayor concentración de cromo que la esperada de acuerdo al contenido de dichos metales. Sin embargo, esta anomalía no se detectó como enriquecimiento al calcular los FE (Buat-Ménard, 1979), ni en la determinación del índice de geoacumulación (Müller, 1979). De hecho, todos los sitios analizados en esta zona de estudio se catalogan como no contaminados con cromo.

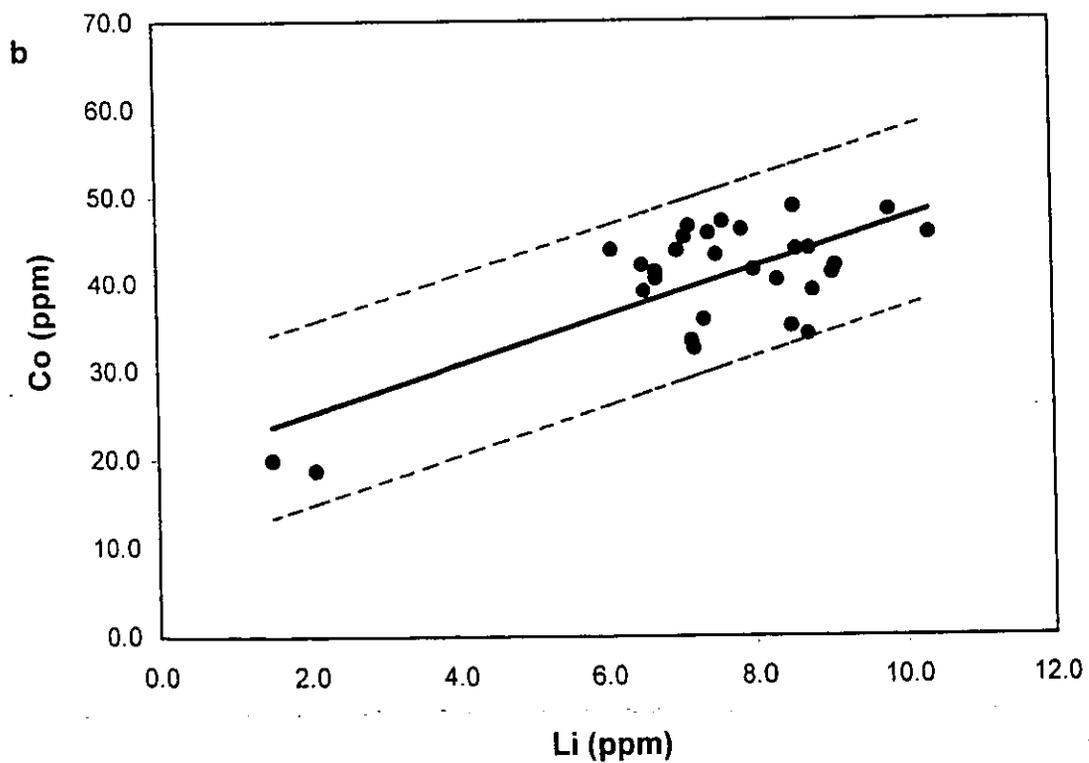
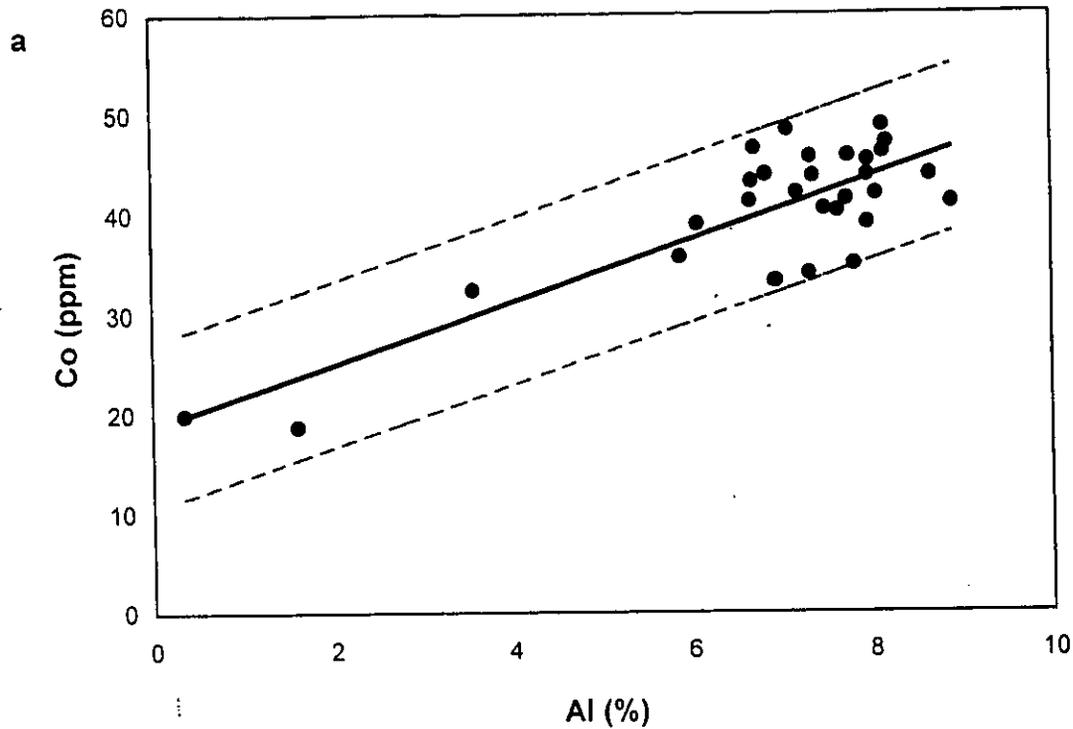


Fig. 3.11 Concentración de Co contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar)

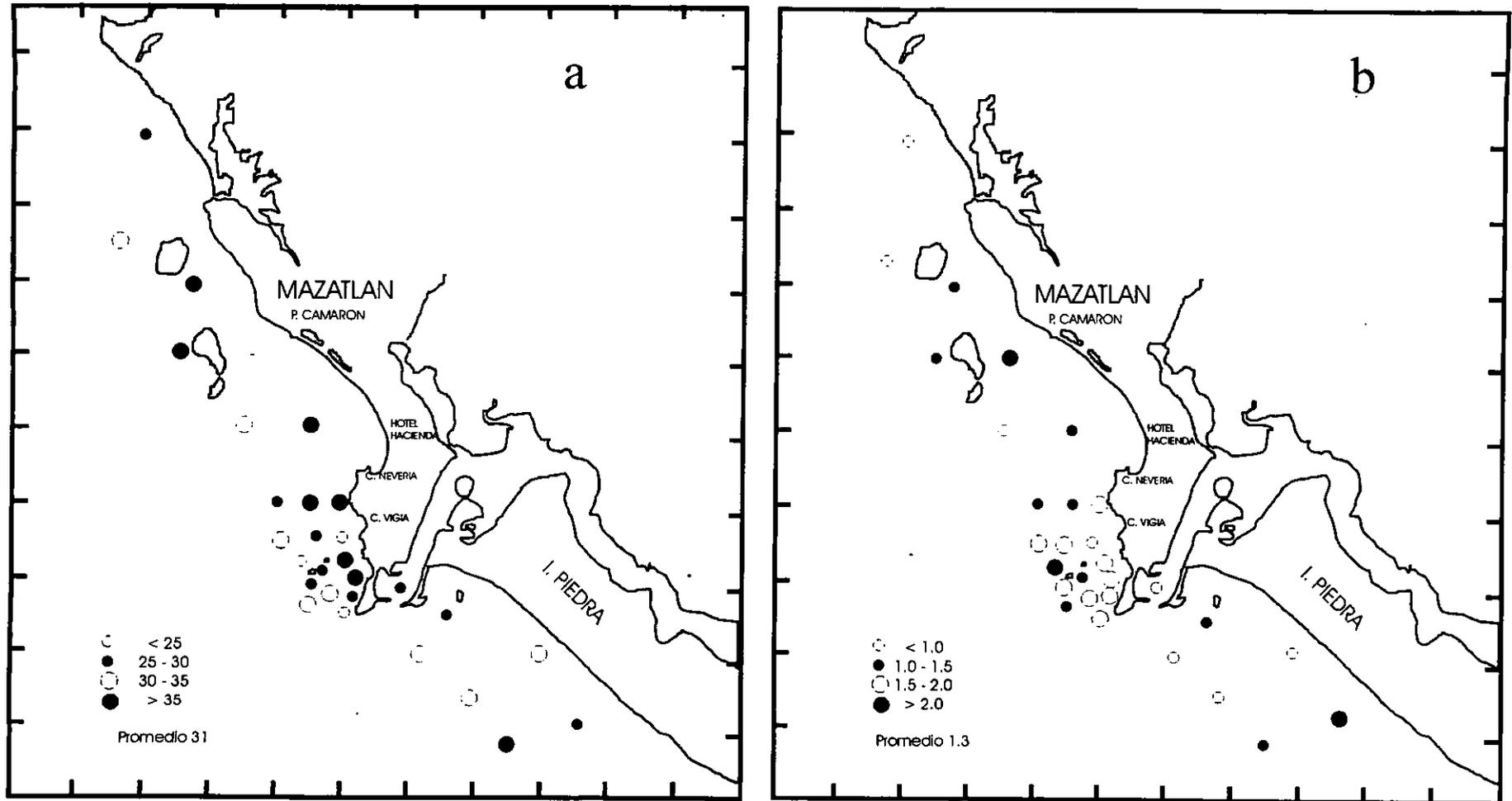


Fig. 3.12.- Distribución de a) la concentración de Cr (ppm) y b) el factor de enriquecimiento de Cr empleando Li como elemento conservativo.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

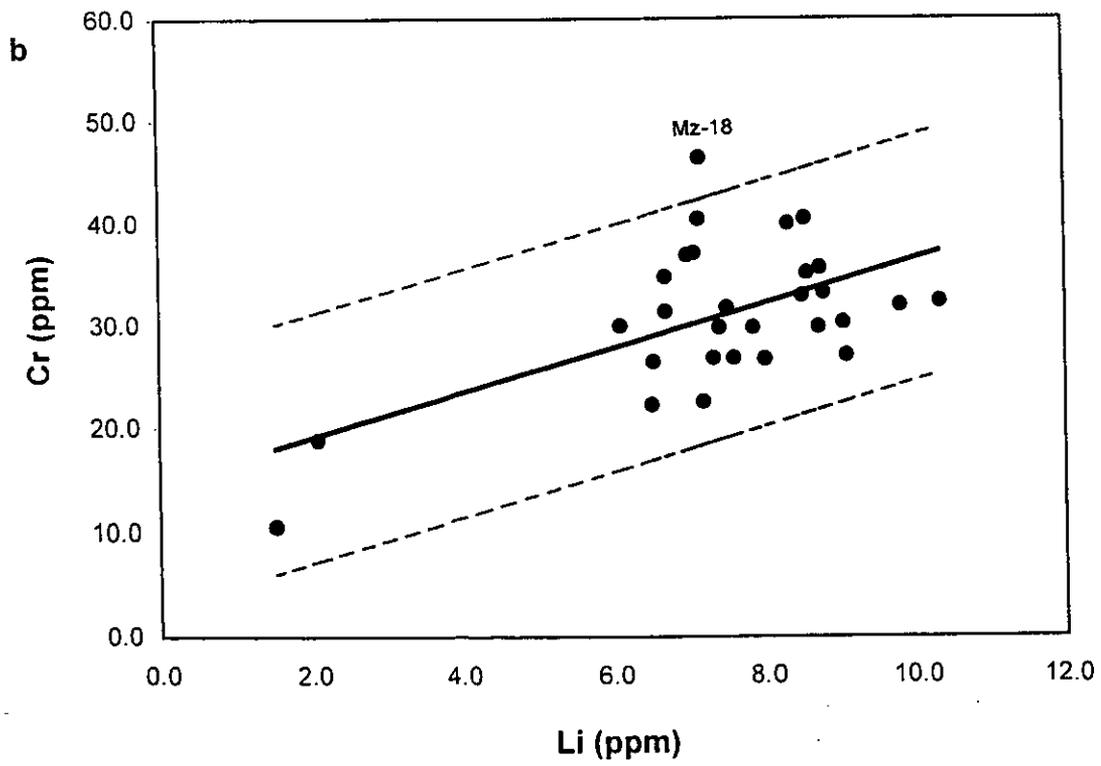
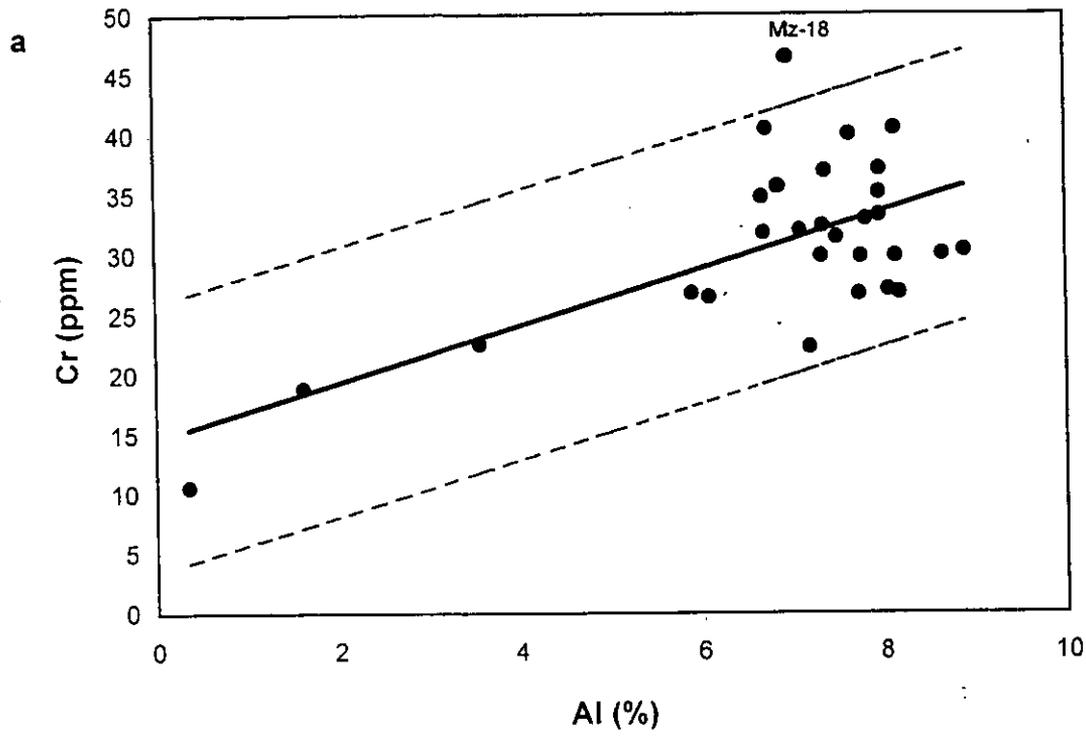


Fig. 3.13 Concentración de Cr contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

Cobre

El valor promedio de cobre en los sedimentos superficiales fue de 6.3 ± 3.1 ppm, con un mínimo de 2.5 y un máximo de 16.5 ppm. La mayor concentración de este grupo de muestras corresponde a la boca del estero de Urías (MZ4), la cual está influenciada por el aporte de este metal desde el interior de dicho cuerpo de agua (Fig. 3.14a), donde según Soto-Jiménez (1998), se presentaron altos niveles de este metal (7.7 a 90.9 ppm). De acuerdo con Leoni y Sartori (1996) y Shriadah (1998), altas concentraciones de Cu se pueden relacionar con la descarga de aguas municipales, así como con el manejo de hidrocarburos y con la reparación de barcos y botes (astilleros), en tanto que Gibbs y Guerra (1997) relacionaron al Cu con la pintura de las embarcaciones en el puerto de Belice. Las dos últimas actividades se llevan a cabo en el interior del estero de Urías, pudiendo ser las principales causas de aporte de este metal.

Por otro lado, también se encuentran valores altos en la zona del emisor (estaciones MZ5, MZ6, MZ7, MZ24, MZ25), generalmente relacionados con los mayores porcentajes de carbono orgánico. Al respecto, sólo el cadmio y el cobre se correlacionaron significativamente con el carbono orgánico, siendo el segundo el que mayor coeficiente obtuvo ($r = 0.87$), lo que sugiere que el material orgánico es el principal factor en los procesos geoquímicos que alteran el comportamiento de este metal en la Bahía de Mazatlán (Fig. 3.15). Rosales-Hoz y Carranza-Edwards (1998) mencionan que en sedimentos del río Coatzacoalcos, el cobre está formando complejos con el material orgánico, los cuales son lentamente precipitados en su camino al mar. Un proceso similar puede estar ocurriendo en la Bahía de Mazatlán conforme el Cu es aportado desde el estero de Urías hacia la zona costera adyacente.

Debido a que el cobre no se correlacionó con el Al ni con el Li, no tiene sentido calcular los factores de enriquecimiento; sin embargo, si se pudo determinar el índice de geoacumulación (Müller, 1979), quedando clasificada la Bahía de Mazatlán como no contaminada por cobre.

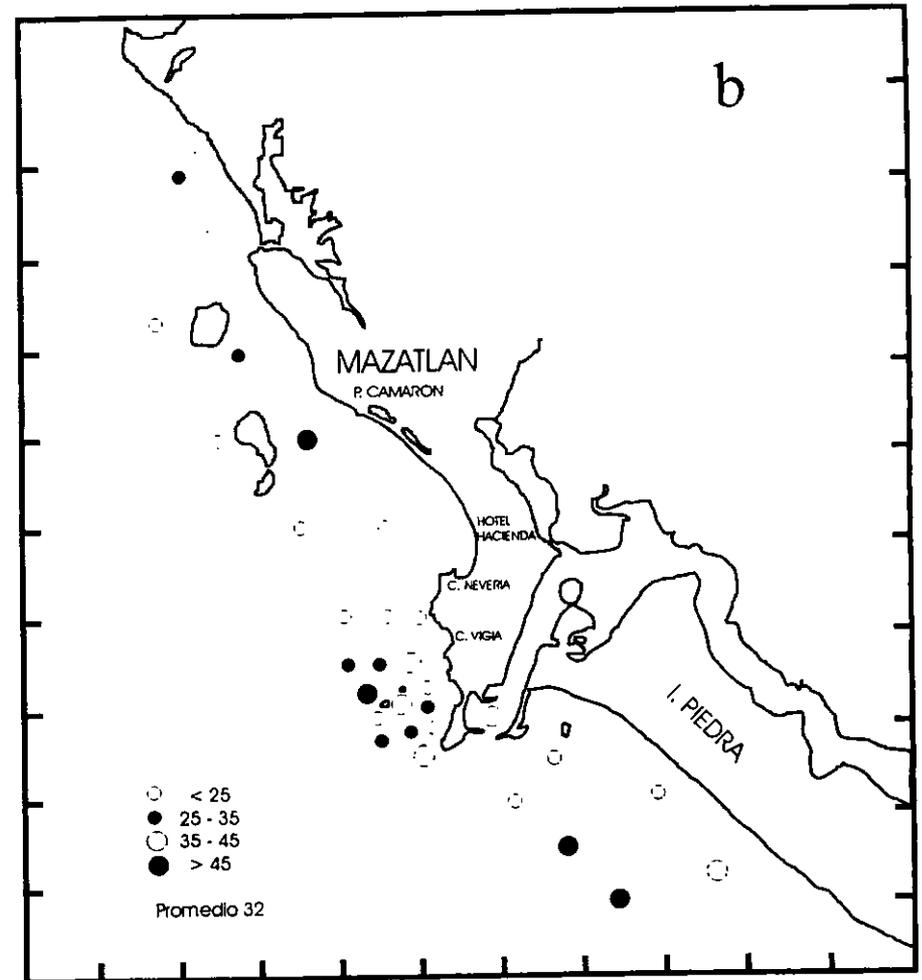
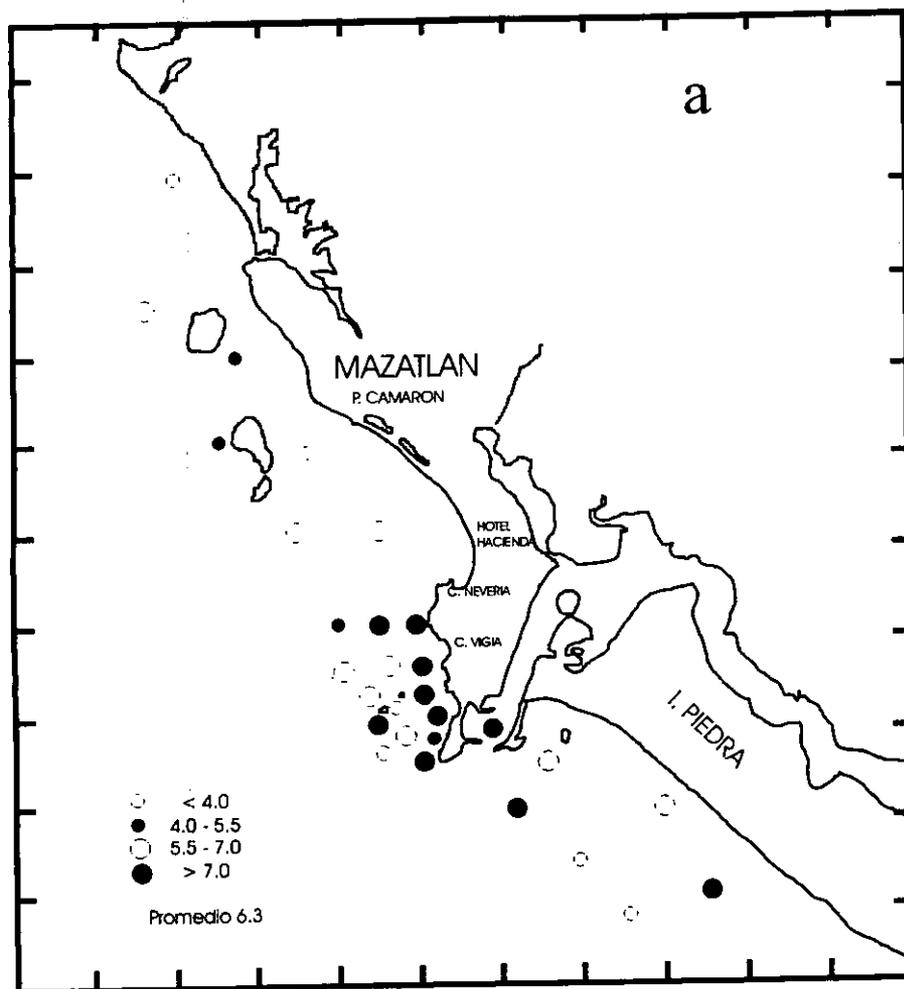


Fig. 3.14.- Distribución de a) la concentración de Cu (ppm) y b) la proporción de cobre biodisponible. (%)

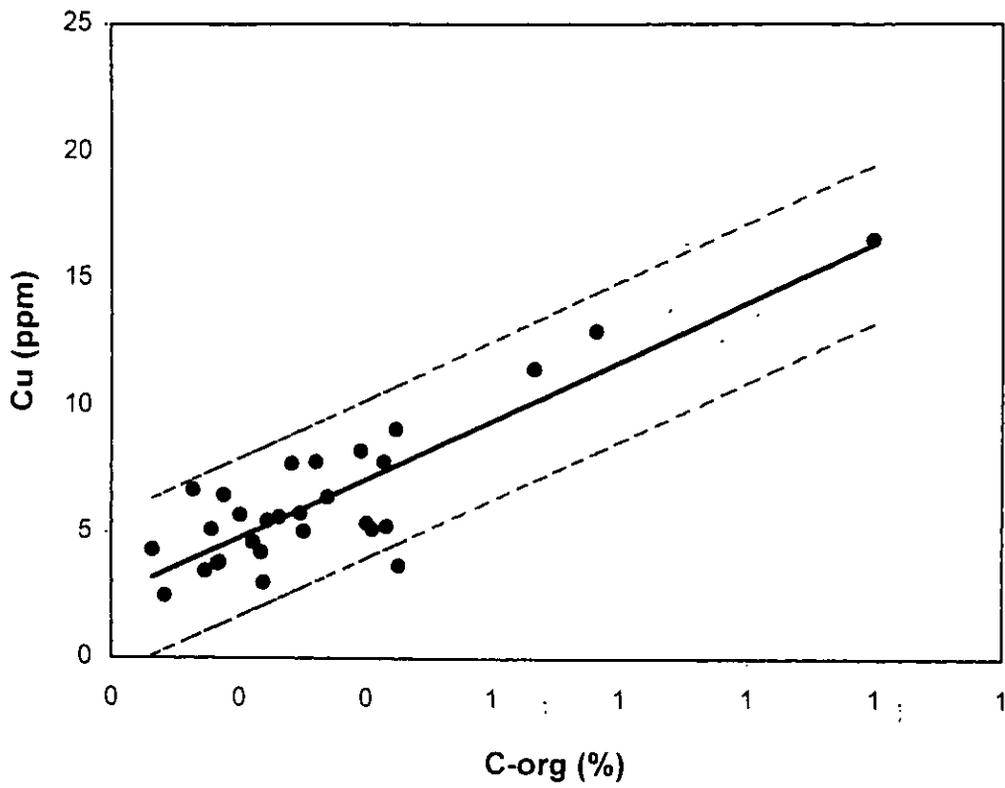


Fig. 3.15 Concentración de Cu total contra C orgánico. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

El porcentaje de Cu en la fase biodisponible manifiesta el mismo comportamiento que el correspondiente a cadmio, presentando correlación directa con la concentración de carbonatos e inversa con el contenido total de Al, Fe, Li y Mn. El valor promedio de la proporción biodisponible con respecto al total de cobre es de 32.2 ± 15.2 %, con un máximo de 71.8 y un mínimo de 18.0 %. Las estaciones MZ16 y MZ23 también presentaron altas proporciones de dicha fase de este metal (Fig. 3.14b).

Por otra parte, sobresalen las estaciones MZ28 y MZ29 por ser las que mayor porcentaje mostraron. Estas estaciones poseen elevados contenidos de sedimentos finos. Asimismo, en la boca del estero de Urías (estación MZ4) se observó un valor alto (45 %), asociado a la mayor concentración de cobre total y al aporte desde el interior del estero.

Hierro

Los porcentajes de hierro en los sedimentos superficiales variaron entre 0.3 y 3.5 % con un promedio de 2.6 ± 0.7 %. Los valores altos de hierro se ubicaron relativamente cerca de la zona del emisor de aguas residuales (Fig. 3.16a); sin embargo, se observa un efecto de dilución en las estaciones MZ16 y MZ23, donde se presentan los menores valores de este metal en oposición a las altas concentraciones de carbonatos. El contenido de hierro se correlacionó significativamente con Mn, Al (Fig. 3.17a), Co, Cr, Li (Fig. 3.17b), Zn y la montmorillonita, indicando el origen común entre estos metales y la importancia que tienen los óxidos de hierro y manganeso y los minerales arcillosos en la geoquímica de los mismos.

En cuanto al factor de enriquecimiento del Fe en relación con el Li (Buat-Ménard, 1979), las estaciones MZ1 y MZ11 mostraron los máximos valores (3.4 y 3.1, respectivamente) (Fig. 3.16b) y en lo que respecta al índice de geoacumulación (Müller, 1979), la zona de estudio puede ser catalogada como no contaminada por hierro.

La fase biodisponible de hierro osciló entre 6.0 y 46.1 % de la concentración total de

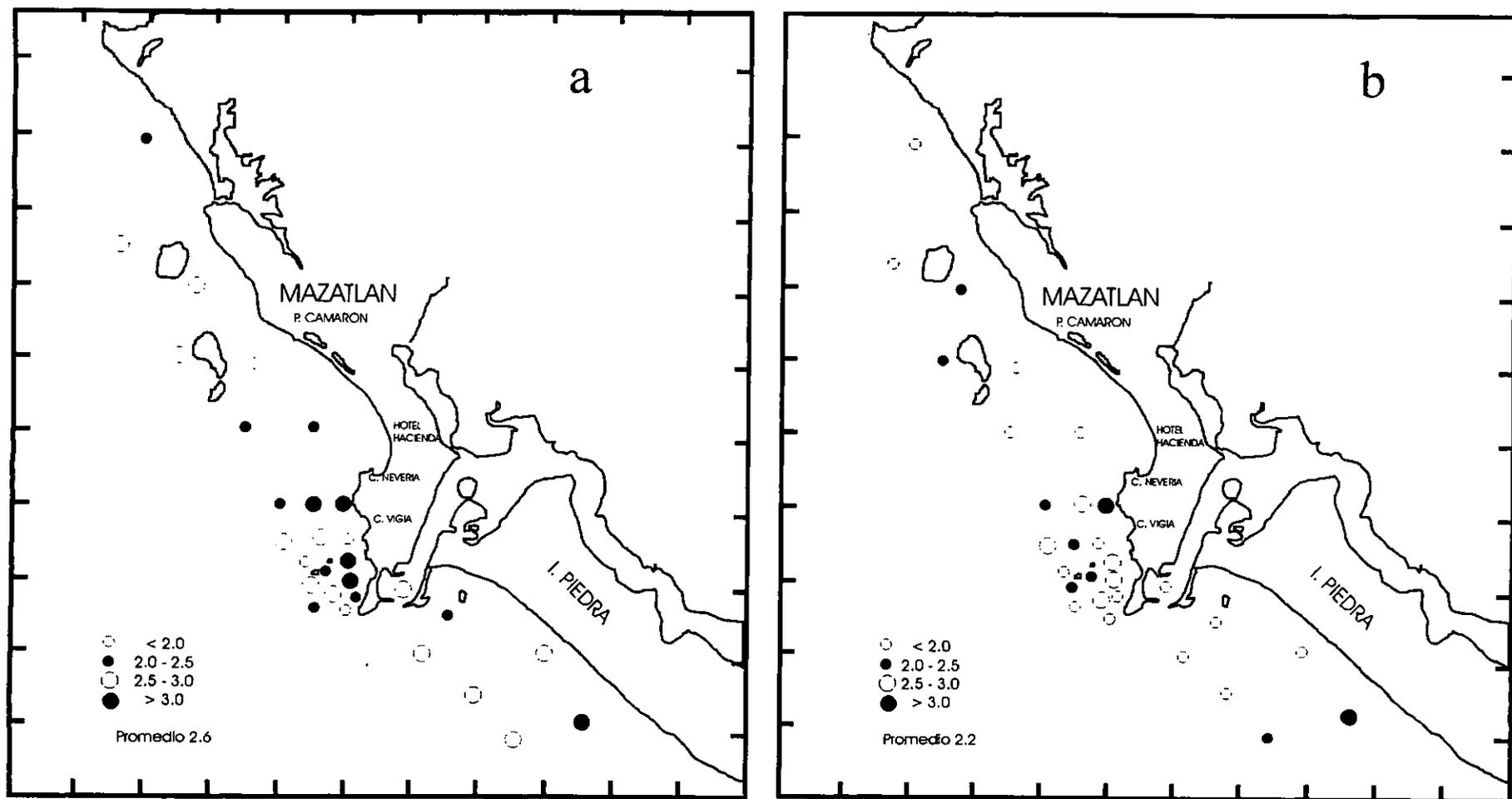


Fig. 3.16.- Distribución de a) la concentración de hierro (%) y b) el factor de enriquecimiento de hierro empleando litio como elemento conservativo.

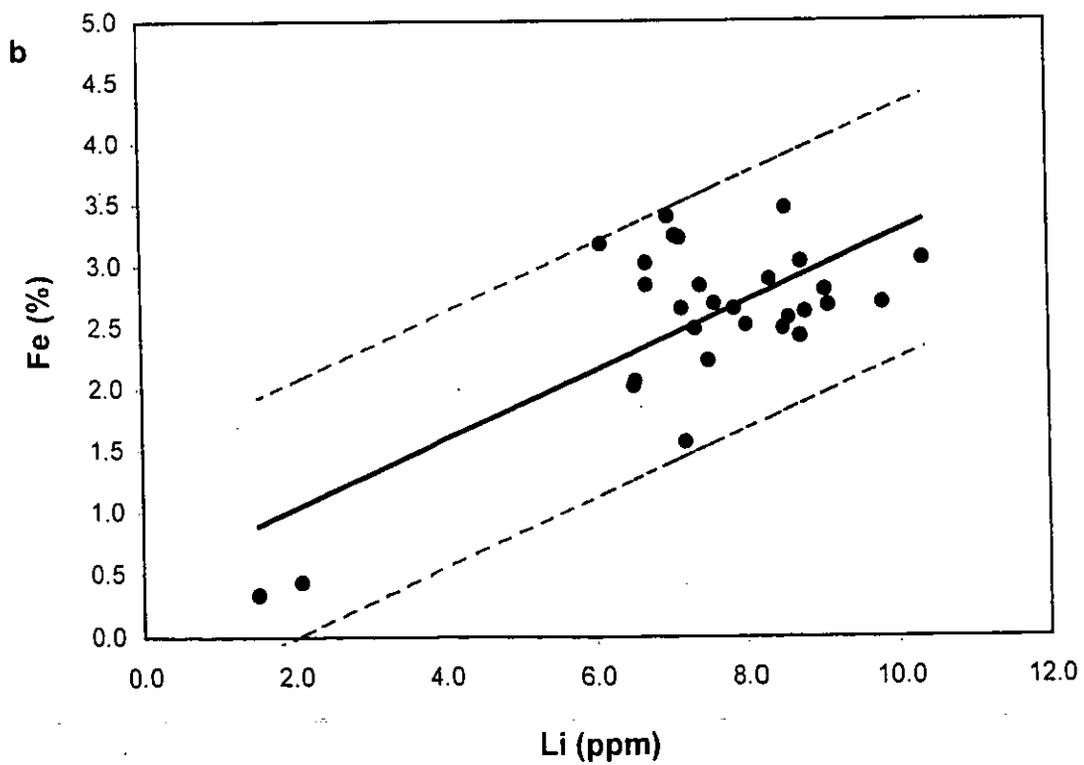
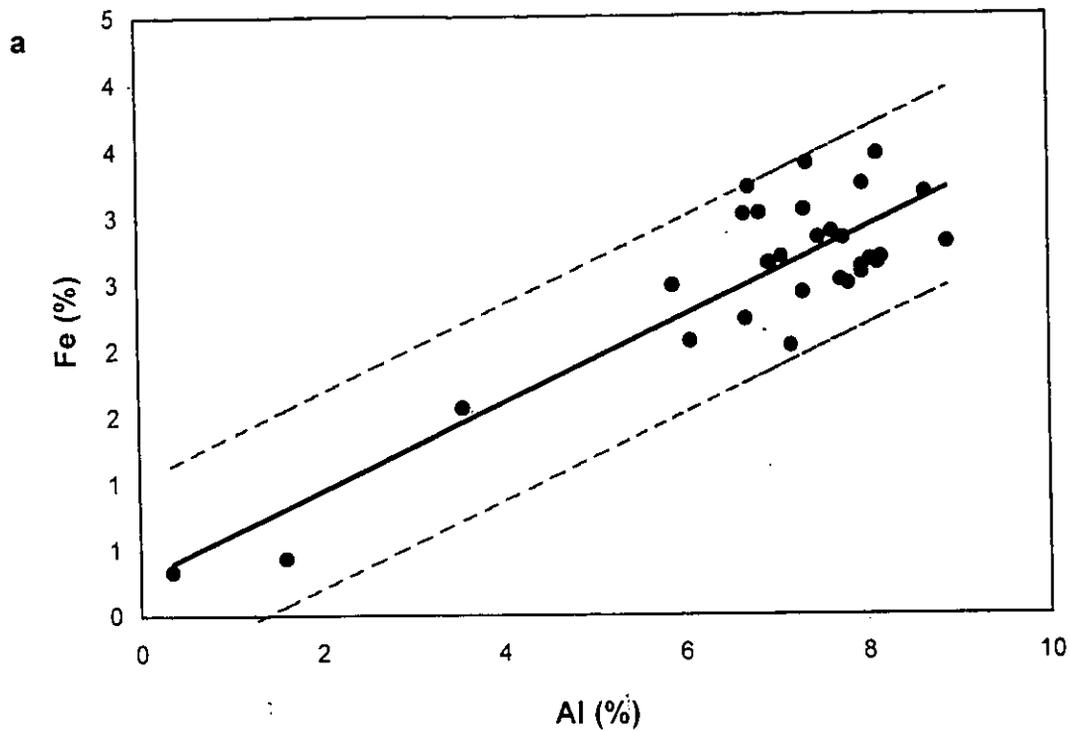


Fig. 3.17 Concentración de Fe contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

este elemento en los sedimentos superficiales de la Bahía de Mazatlán, con un promedio de 10.5 ± 9.5 %. Sobresalen las estaciones MZ16 y MZ23 con las mayores proporciones de hierro biodisponible y de carbonatos (Fig. 3.18).

Al igual que Cd y Cu, el Fe biodisponible se correlacionó significativamente con el carbonato y en forma inversa con Al, Fe, Li y Mn totales. Existe una alta correlación inversa entre el hierro en la fracción biodisponible y su correspondiente contenido total ($r = -0.89$), lo cual significa que entre mayor sea el contenido de hierro total menor será su fase biodisponible. Lo anterior es el resultado de la alta asociación entre el Fe biodisponible y los carbonatos ($r = 0.80$) y la inversa correlación entre Fe total y carbonatos ($r = -0.62$), indicando el papel importante que juega la concentración de carbonatos en el fraccionamiento geoquímico de este metal.

Litio

La concentración de litio en los sedimentos superficiales osciló entre 1.5 y 10.3 ppm, con un promedio de 7.5 ± 1.9 ppm. Las mayores concentraciones se presentaron en la región sur de la zona de estudio en las estaciones MZ2, MZ29 y MZ30 (Fig. 3.19). Las dos últimas tuvieron más de 40 % de los sedimentos finos, los cuales intervienen significativamente en los procesos de adsorción de este metal (correlación entre el litio y el porcentaje de sedimentos finos; $r = 0.55$). Diversos autores coinciden en que los metales pesados son concentrados en la fracción limo-arcillosa del sedimento (Loring, 1990; Jones y Turki, 1997). Asimismo, las estaciones MZ2 y MZ30 tienen más de 60 % de abundancia relativa de caolinita. Este mineral se correlaciona significativamente con el Li ($r = 0.59$), indicando que tiene una afinidad por este metal.

En la boca del estero de Urías (estación MZ4) se presentó otro valor alto (9.1 ppm), posiblemente sugiriendo que el aporte de este metal es del interior del estero hacia la bahía, lo que además se evidencia con las altas concentraciones en dicho estero observadas por Soto-Jiménez (1998) (Fig. 3.5).

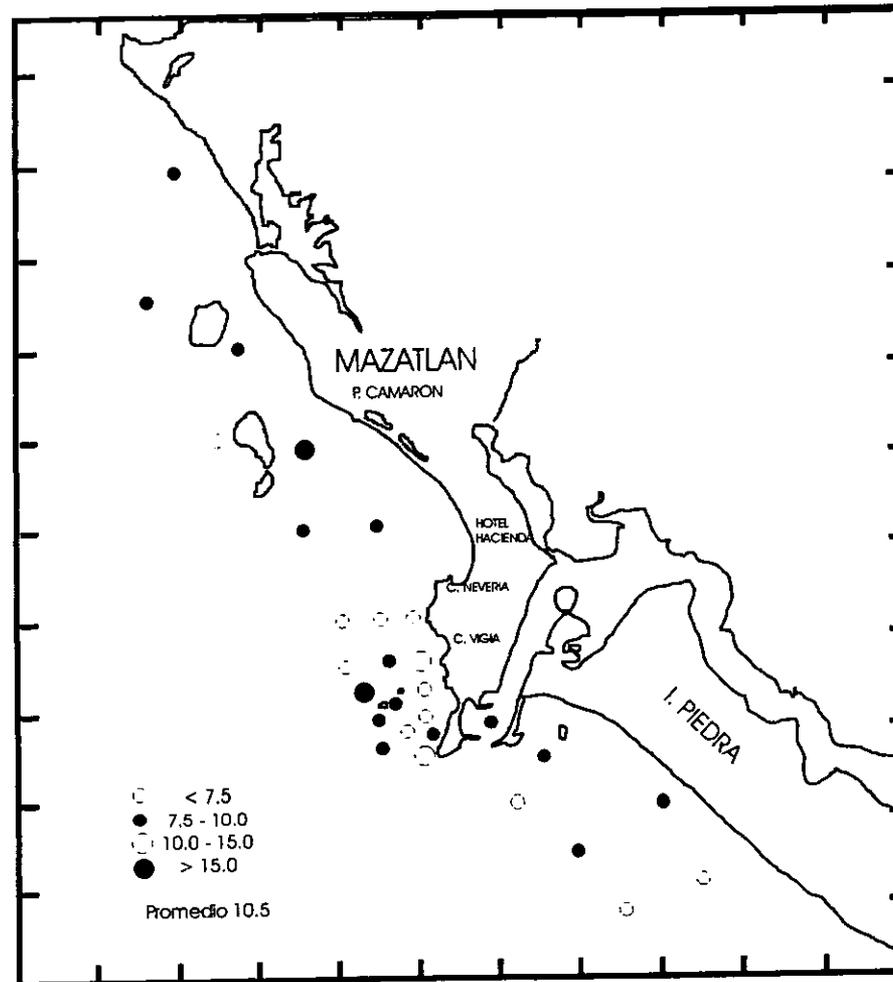


Fig. 3.18.- Distribución de la proporción de hierro biodisponible (%).

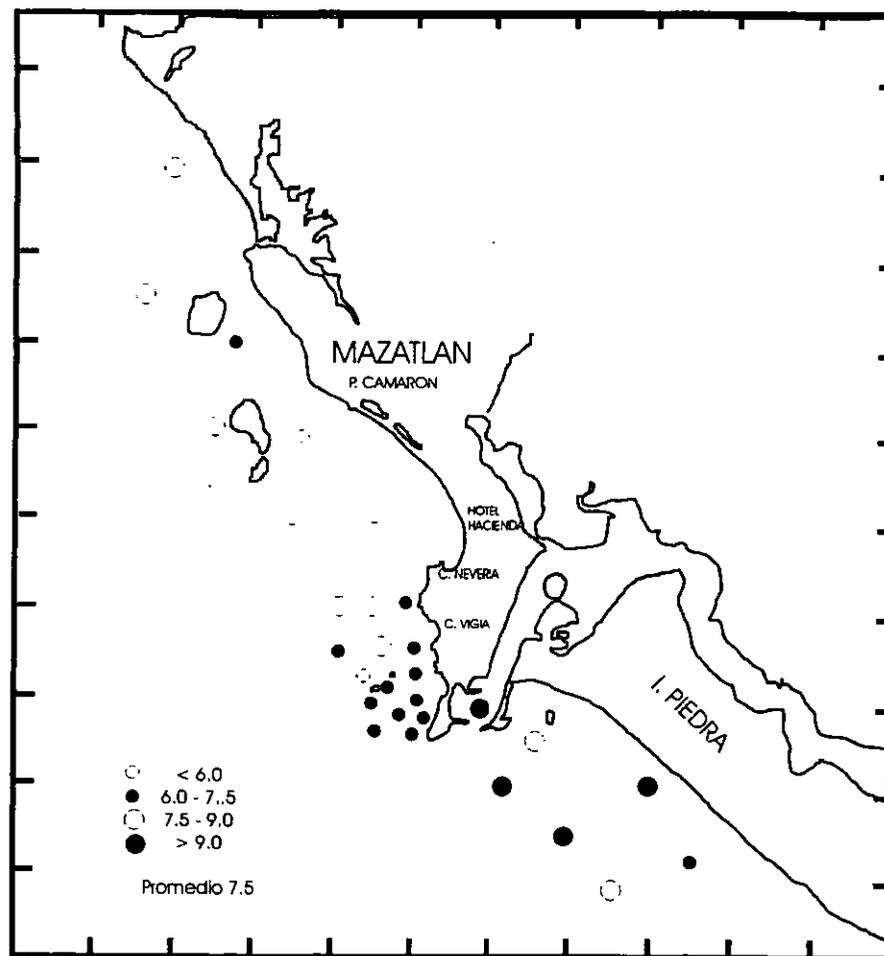


Fig. 3.19.- Distribución de la concentración de litio (ppm).

De acuerdo al índice de geoacumulación (Müller, 1979), los sedimentos de la Bahía de Mazatlán son considerados como no contaminados con este metal.

Como ya se mencionó en la sección correspondiente al aluminio, el litio también ha sido utilizado como elemento de referencia para la normalización de los valores de otros metales, al calcular el factor de enriquecimiento (Buat-Ménard, 1979; Loring, 1990; Green-Ruiz, 1996), dado su carácter terrígeno. Con respecto a la normalización de los otros metales cuando utilizamos Li como elemento de referencia, se discute en la sección correspondiente a cada uno de ellos.

Manganeso

El contenido promedio de manganeso en los sedimentos superficiales de esta zona de estudio fue de 569 ± 132 ppm, con un valor mínimo de 230 ppm y un máximo de 800 ppm. Como se observa en la figura 3.20a, las mayores concentraciones de este metal se localizaron hacia la parte central del área de estudio (estaciones MZ11, MZ12, MZ14 y MZ17), en tanto que las menores se ubicaron en la región adyacente al emisor de aguas residuales (estaciones MZ5, MZ7, MZ23, MZ24 y MZ27), y entre la Isla Venados y Punta Camarón (estación 16), donde existen altas concentraciones de carbonatos, diluyendo el contenido de este metal. Lo anterior se refleja en la correlación inversa entre estos dos parámetros ($r = 0.40$). Sin embargo, al realizar los cálculos de los factores de enriquecimiento empleando Li como elemento de referencia (Buat-Ménard, 1979), las estaciones MZ1, MZ11, MZ16 y MZ23 tuvieron los mayores FE_{Li} (3.2, 3.2, 3.3 y 5.4, respectivamente) (Fig. 3.20b).

Soto-Jiménez (1998) encontró valores similares en el interior del estero de Urías, observando un aumento gradual de la concentración de manganeso en los sedimentos desde la cabeza hacia la boca del estero, pudiendo sugerir una aporte de Mn desde el exterior de este cuerpo de agua (fig. 3.5).

Al igual que Fe, el contenido de este metal en el material sedimentario de la Bahía de

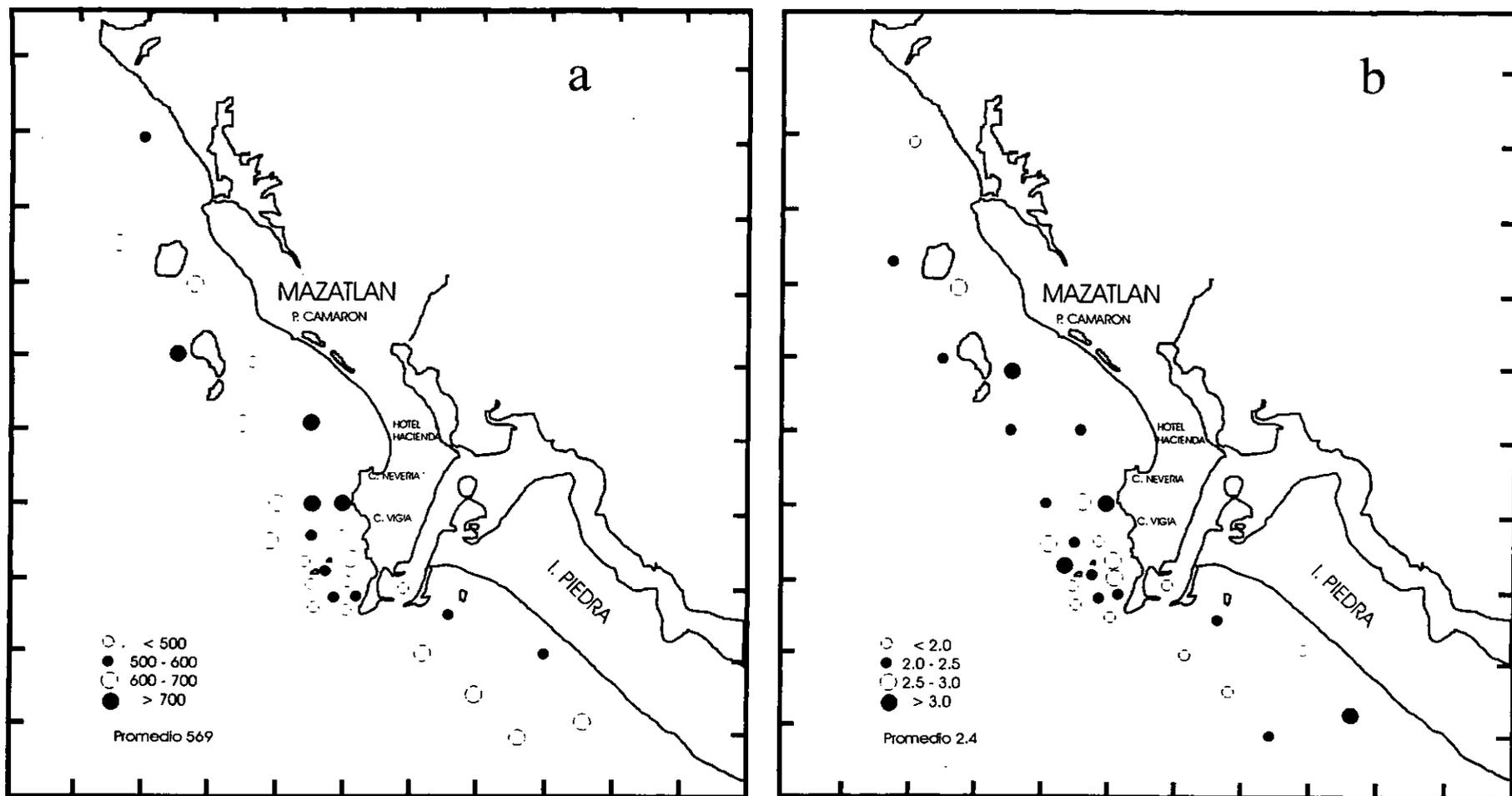


Fig. 3.20.- Distribución de a) la concentración de manganeso (ppm) y b) el factor de enriquecimiento de magnesio empleando litio como elemento conservativo.

Mazatlán se correlacionó con Al (Fig. 3.21a), Co, Cr, Fe, Li (Fig. 3.21b) y Zn, sugiriendo una fuente de aporte común; además del papel significativo que juegan los óxidos de manganeso y hierro en la geoquímica de dichos metales.

De acuerdo con la clasificación propuesta por Müller (1979), estos sedimentos no están contaminados con Mn.

Níquel

La concentración de níquel osciló entre 13.5 y 36.0 ppm, con un promedio de 23.1 ± 6.6 ppm. En la zona del emisor se observaron valores bajos de este metal (estaciones MZ5, MZ6 y MZ21) (Fig. 3.22); en tanto que, en la región adyacente se presentaron los valores más grandes (estaciones MZ25, MZ26 y MZ27), sugiriendo que existen factores que impiden el inmediato depósito de Ni y permiten su posterior sedimentación. Dichos factores son diferentes a los parámetros fisicoquímicos que normalmente regulan el comportamiento geoquímico de los metales, como son los contenidos de carbono orgánico, sedimentos finos, presencia de óxidos de Fe y Mn, con ninguno de los cuales presentó correlación con este metal. Sin embargo, se correlacionó inversamente con la concentración de carbonatos, como producto del efecto de dilución que este componente ejerce sobre los metales.

Las estaciones MZ28, MZ29 y MZ30 también presentaron valores altos de níquel, posiblemente debido a la mayor presencia de material fino (> 40%) en esta región y al aporte de este metal desde el estero de Urías, el cual es transportado por la corriente litoral dominante en dirección sureste (Montaño-Ley, 1985).

Debido a que no existió correlación entre níquel y el Al o Li, no se efectuaron los cálculos correspondientes a los factores de enriquecimiento; sin embargo, al determinar el índice de geoacumulación (Müller, 1979), la zona de estudio se cataloga como no contaminada con este metal.

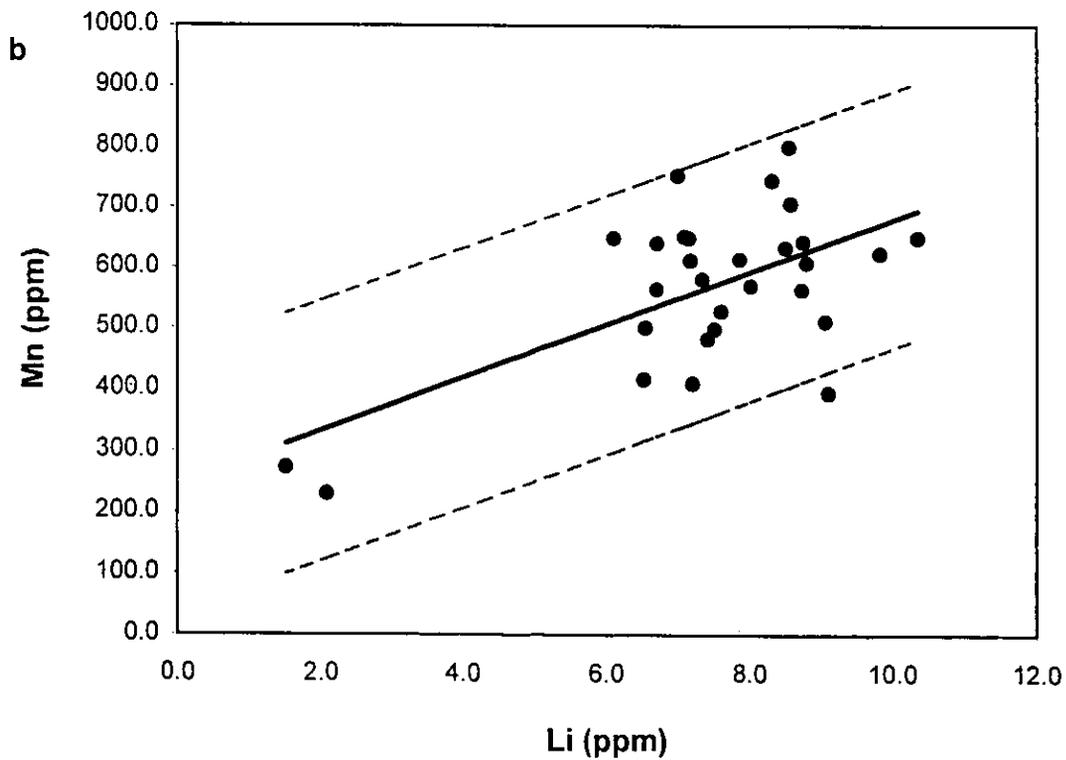
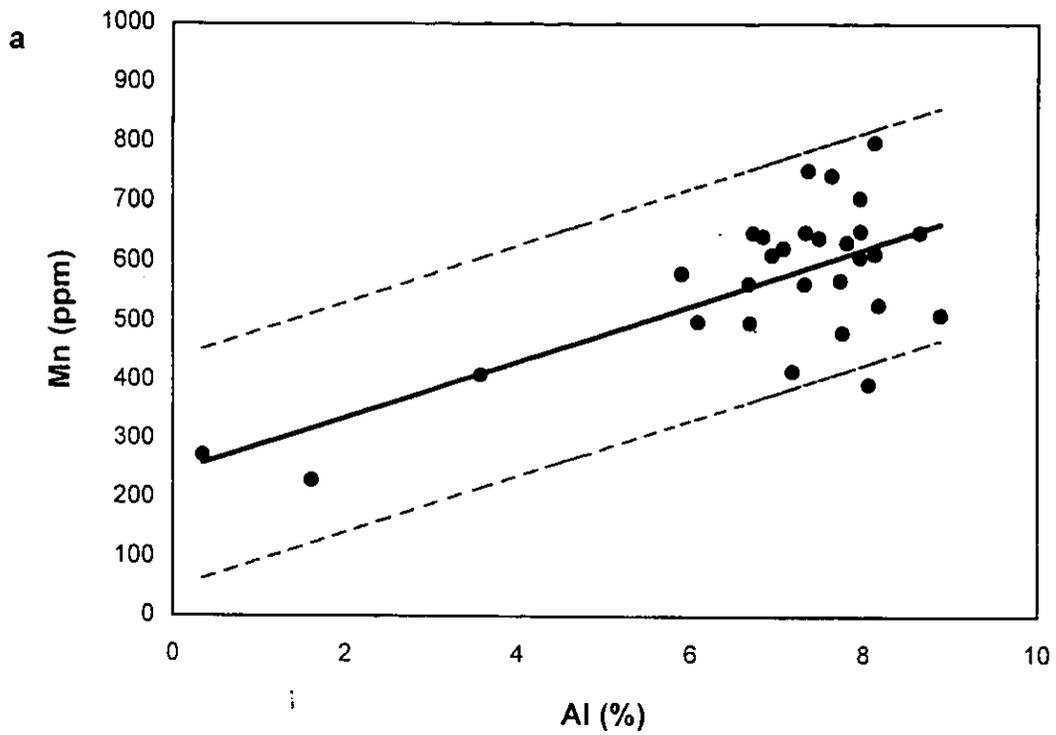


Fig. 3.21 Concentración de Mn contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

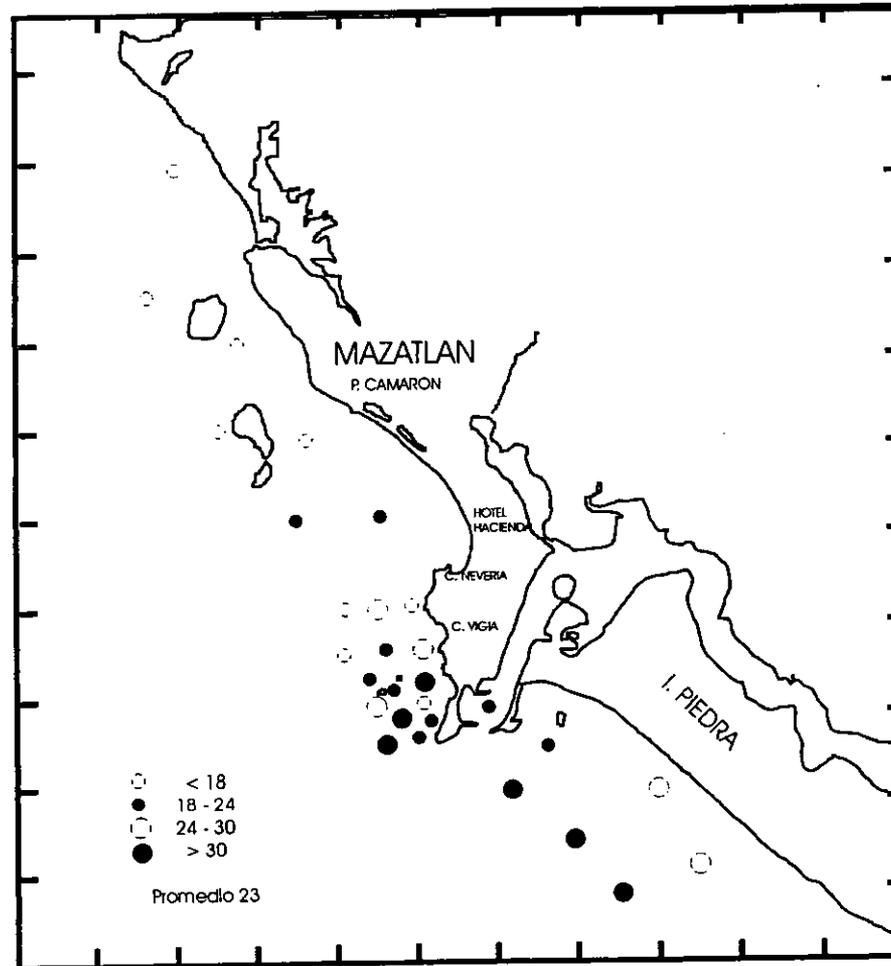


Fig. 3.22.- Distribución de la concentración de níquel (ppm).

Plomo

La concentración promedio de plomo fue de 64.2 ± 17.2 ppm, con un intervalo que varió entre 33.4 hasta 100.8 ppm. La distribución de este metal se muestra en la figura 3.23a, en la cual se observa que los máximos valores se ubicaron hacia la región norte de la bahía, prácticamente enfrente de la mancha urbana, en tanto que los valores bajos se localizaron en la zona sur.

Los valores del contenido de plomo en los sedimentos de la zona de estudio únicamente se correlacionaron, en forma inversa, con aquellos obtenidos para níquel ($r = -0.43$).

El promedio de la proporción de Pb biodisponible fue de 34.9 ± 11.2 %, respecto al contenido total de este metal, presentando un valor máximo 67.0 y un mínimo de 17.4 %. Esta fracción únicamente se correlacionó en forma inversa con su correspondiente concentración total. Su distribución fue muy errática (Fig. 3.23b), y al parecer, ninguno de los parámetros aquí analizados interviene en forma importante en su comportamiento geoquímico.

Zinc

El promedio del contenido de Zn en los sedimentos superficiales fue de 82.2 ± 19.8 ppm y su distribución fue relativamente homogénea, oscilando entre valores de 19.6 a 122.4 ppm, con la mayor concentración en la estación MZ4 (Fig. 3.24a). Los altos valores encontrados por Soto-Jiménez (1998) sugieren un aporte de este metal desde el interior del estero de Urías.

La estación MZ23 presentó la más baja concentración, debido a la dilución provocada por la presencia de carbonatos ($r = -0.66$); sin embargo, al calcular los factores de enriquecimiento (Buat-Ménard, 1979), ésta estación presentó valor alto de FE_{Li} (4.8) (Fig. 3.24b). Según Leoni y Sartori (1996) y Shriadah (1998), las altas concentraciones

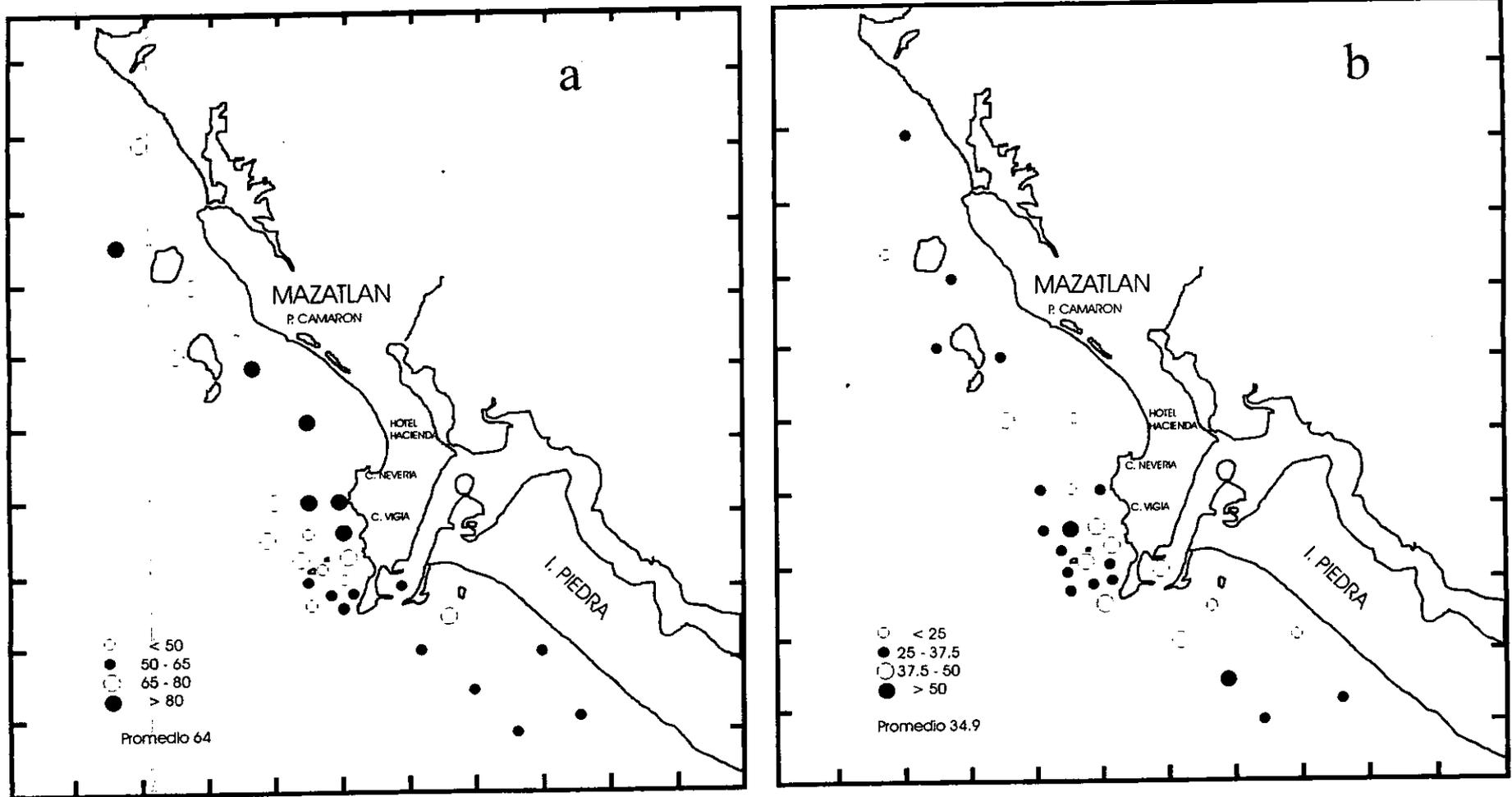


Fig. 3.23.- Distribución de a) la concentración de plomo (ppm) y b) la proporción de plomo biodisponible (%).

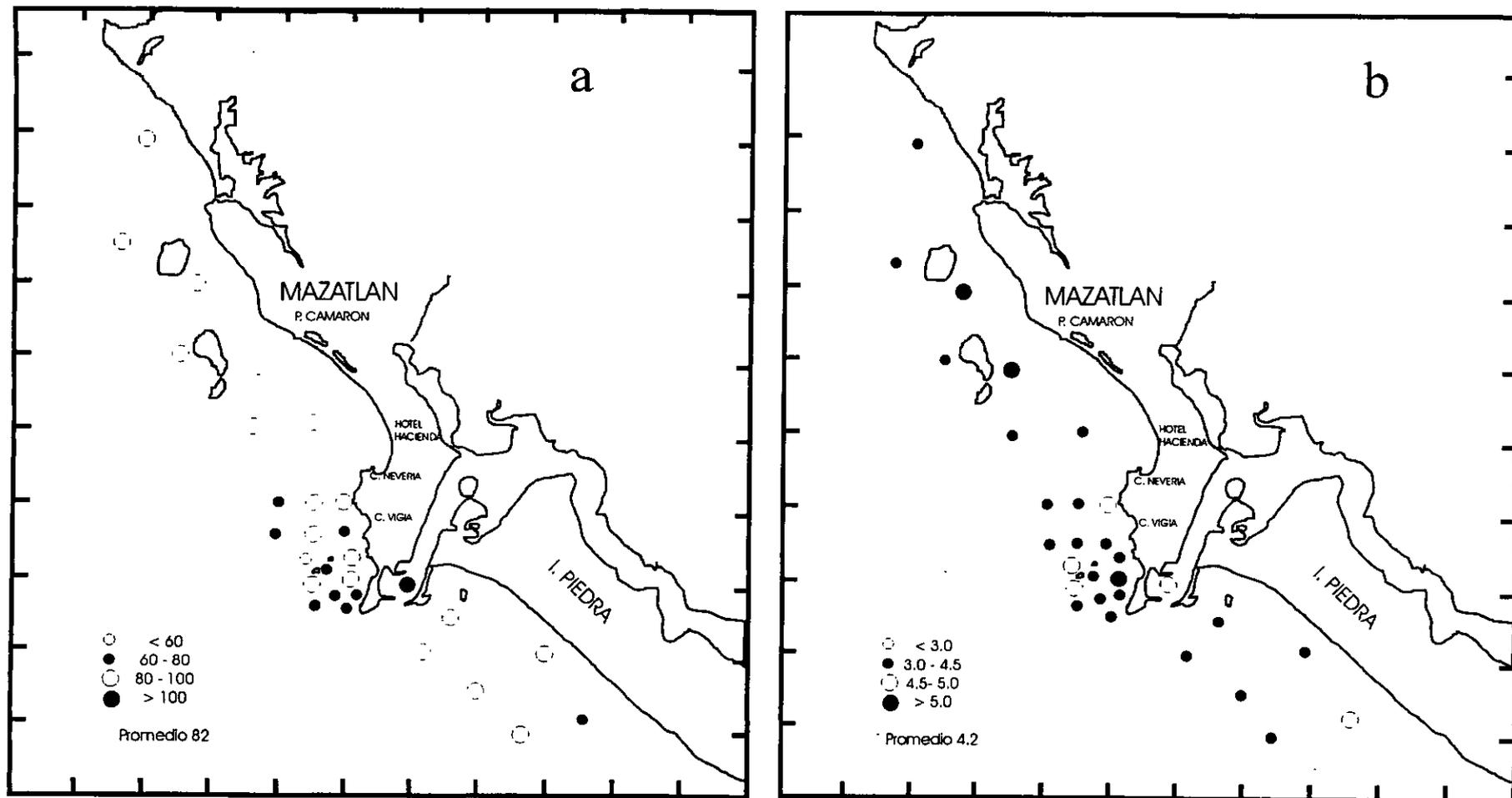


Fig. 3.24.- Distribución de a) la concentración de zinc (ppm) y b) el factor de enriquecimiento de zinc empleando litio como elemento conservativo.

de este metal pueden asociarse a la descarga de aguas municipales.

En la figura 3.25 se muestra la regresión lineal entre este metal y Al y Li, observándose que la estación MZ4 tuvo una concentración de Zn mayor a la esperada de acuerdo con su contenido de los elementos de referencia (Szefer *et al.*, 1996).

La concentración de Zn se correlacionó significativamente con Al, Co, Cr, Fe, Li y Mn, además de que lo hizo también con el porcentaje de sedimentos finos ($r = 0.47$) y la caolinita ($r = 0.60$), evidenciando que, aunado a un posible origen común con los primeros, los limos y arcillas, así como los minerales arcillosos intervienen considerablemente en su adsorción hacia el material sedimentario de la Bahía de Mazatlán.

Los valores del índice de geoacumulación (Müller, 1979) de este metal fueron menores que cero, por lo que se considera que la zona de estudio no está contaminada con Zn.

De la concentración total de Zn, el porcentaje correspondiente a la fase biodisponible varió entre 9.7 y 28.8 %, presentando un promedio de 17.6 ± 4.2 %. El máximo valor se localizó en la estación MZ4 (Fig. 3.26), donde los sedimentos se caracterizan por tener una alta concentración de material orgánico. Solo este metal se correlacionó, en su fracción biodisponible, con el contenido de carbono orgánico ($r = 0.58$), aún cuando ni siquiera lo hace la concentración total de este metal. Lo anterior indica que, aún cuando el carbono orgánico no juega un papel preponderante en los procesos de adsorción y desadsorción del zinc, si interviene significativamente en su fraccionamiento; al menos en lo que respecta a la fase biodisponible.

3.3.3.2 Distribución vertical de los metales pesados en el núcleo Rastro

Osuna-López *et al.* (1986) determinaron la concentración de metales pesados en el puerto y antepuerto de Mazatlán (Estero de Urías), encontrando que los máximos valores, los cuales se asociaban con descargas municipales, industriales y de petróleo,

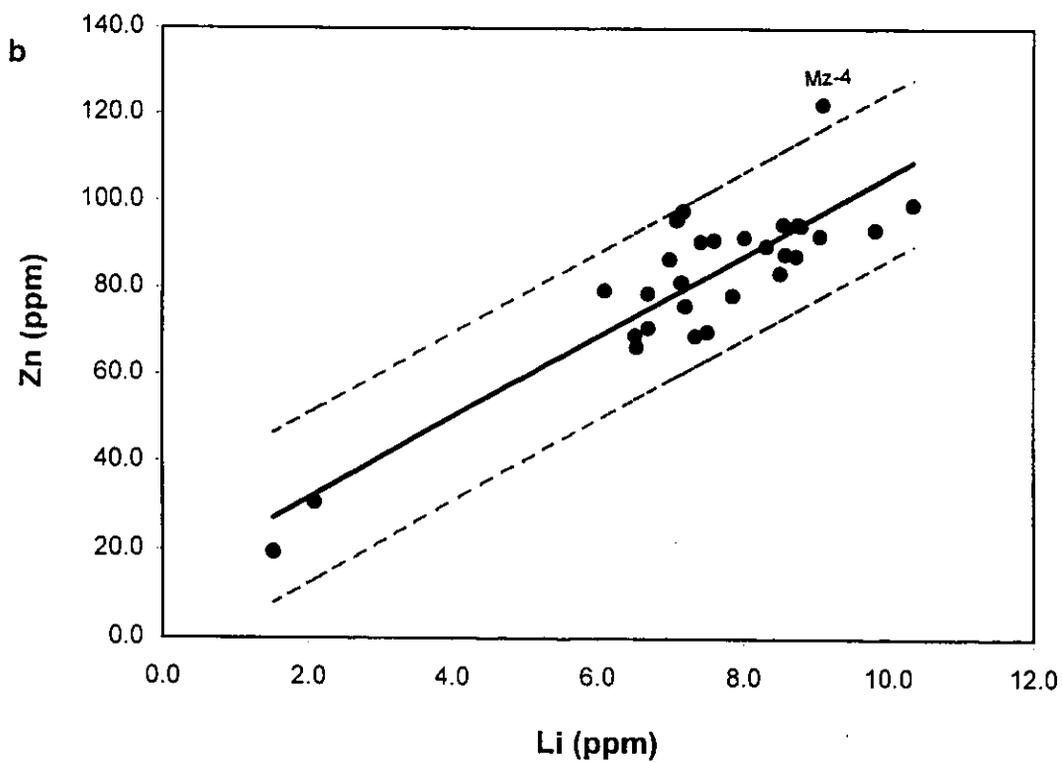
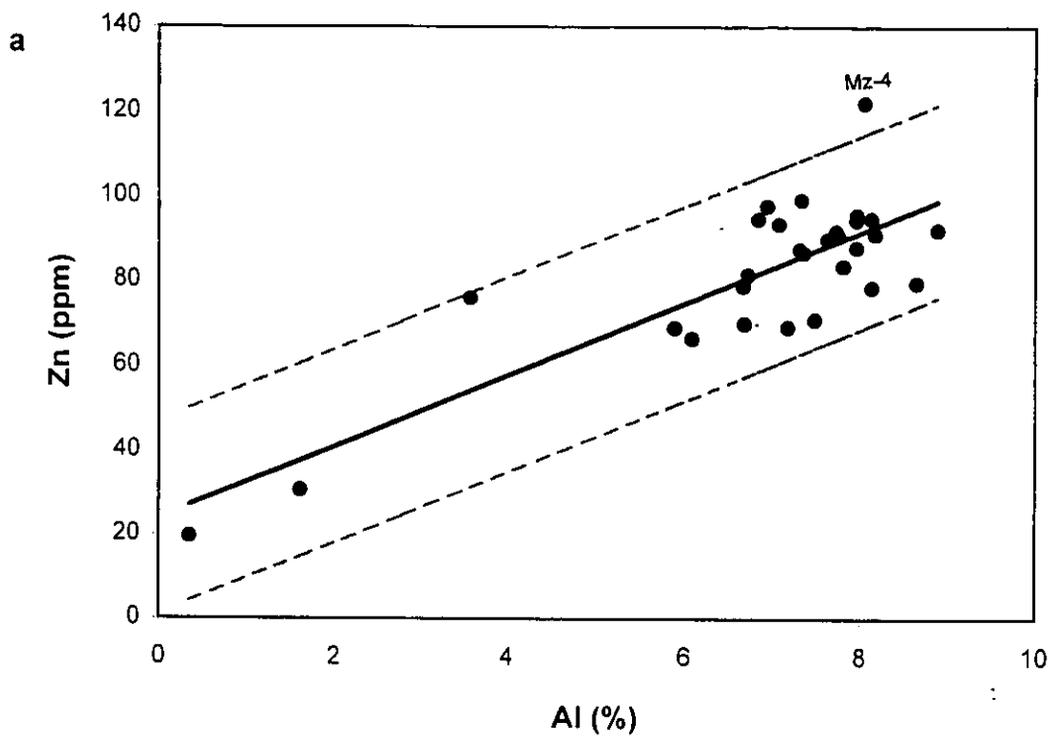


Fig. 3.25 Concentración de Zn contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

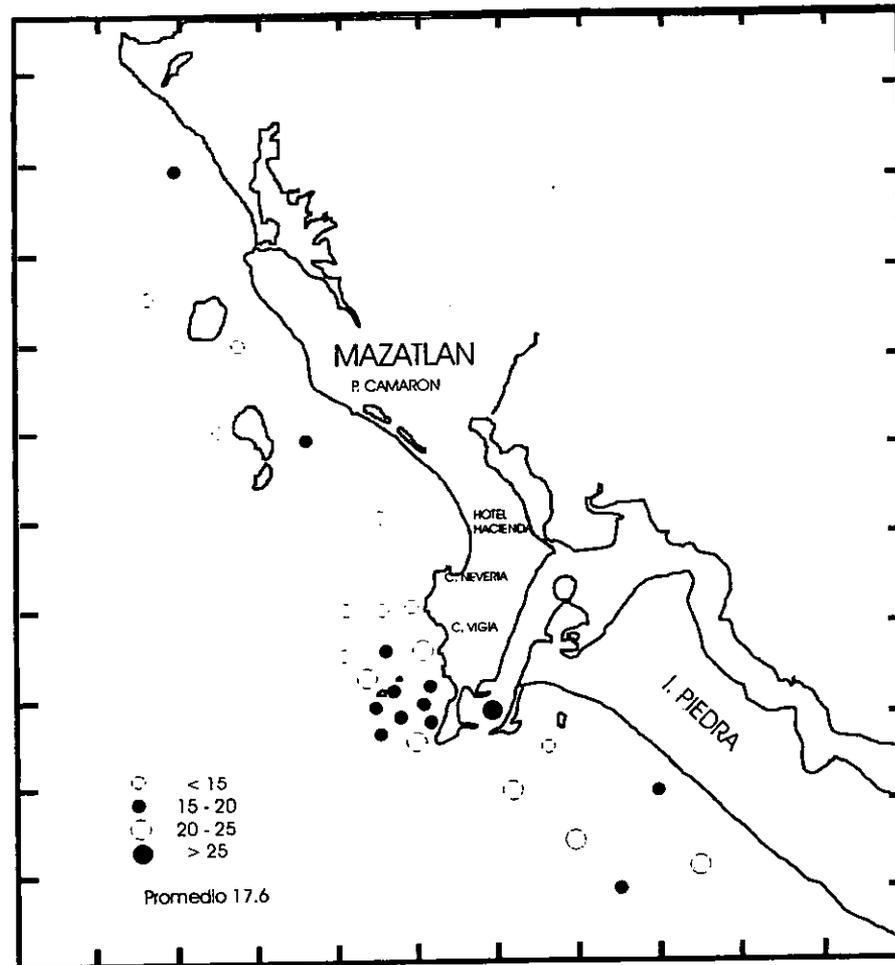


Fig. 3.26.- Distribución de la proporción de zinc biodisponible (%).

se localizaron frente al rastro municipal, por lo que en nuestro trabajo se procedió a la obtención de un núcleo en dicha zona.

El comportamiento de los perfiles de los parámetros determinados se observa en la figura 3.27. Las concentraciones totales promedio, su desviación estándar, el máximo y mínimo valor de carbonatos, carbono orgánico y los metales de las secciones del núcleo Rastro se presentan en la tabla 3.6, en tanto que los valores nominales se encuentran en el anexo VII. Los coeficientes de correlación de los parámetros analizados en las secciones del núcleo se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.6.- Valores promedio, desviación estándar, máximo y mínimo de las concentraciones de carbonatos, carbono orgánico y metales totales, en sedimentos del núcleo El Rastro, Estero de Urías, Mazatlán.

	Promedio	Desv. Están.	Máximo	Mínimo
Carbonatos (%)	2.2	1.9	6.7	0.1
C-orgánico (%)	1.9	0.2	2.3	1.4
Al (%)	6.4	0.4	6.9	5.7
Cd (ppm)	2.6	0.5	3.4	1.7
Co (ppm)	39.4	3.7	45.8	33.6
Cr (ppm)	28.6	3.5	35.7	22.4
Cu (ppm)	29.9	3.8	36.3	22.8
Fe (%)	2.7	0.2	3.1	2.6
Li (ppm)	8.1	0.7	9.9	6.9
Mn (ppm)	374	30	443	318
Ni (ppm)	36.6	4.1	45.5	31.1
Pb (ppm)	63.3	11.2	88.5	50.5
Zn (ppm)	120.7	18.8	154.2	87.7

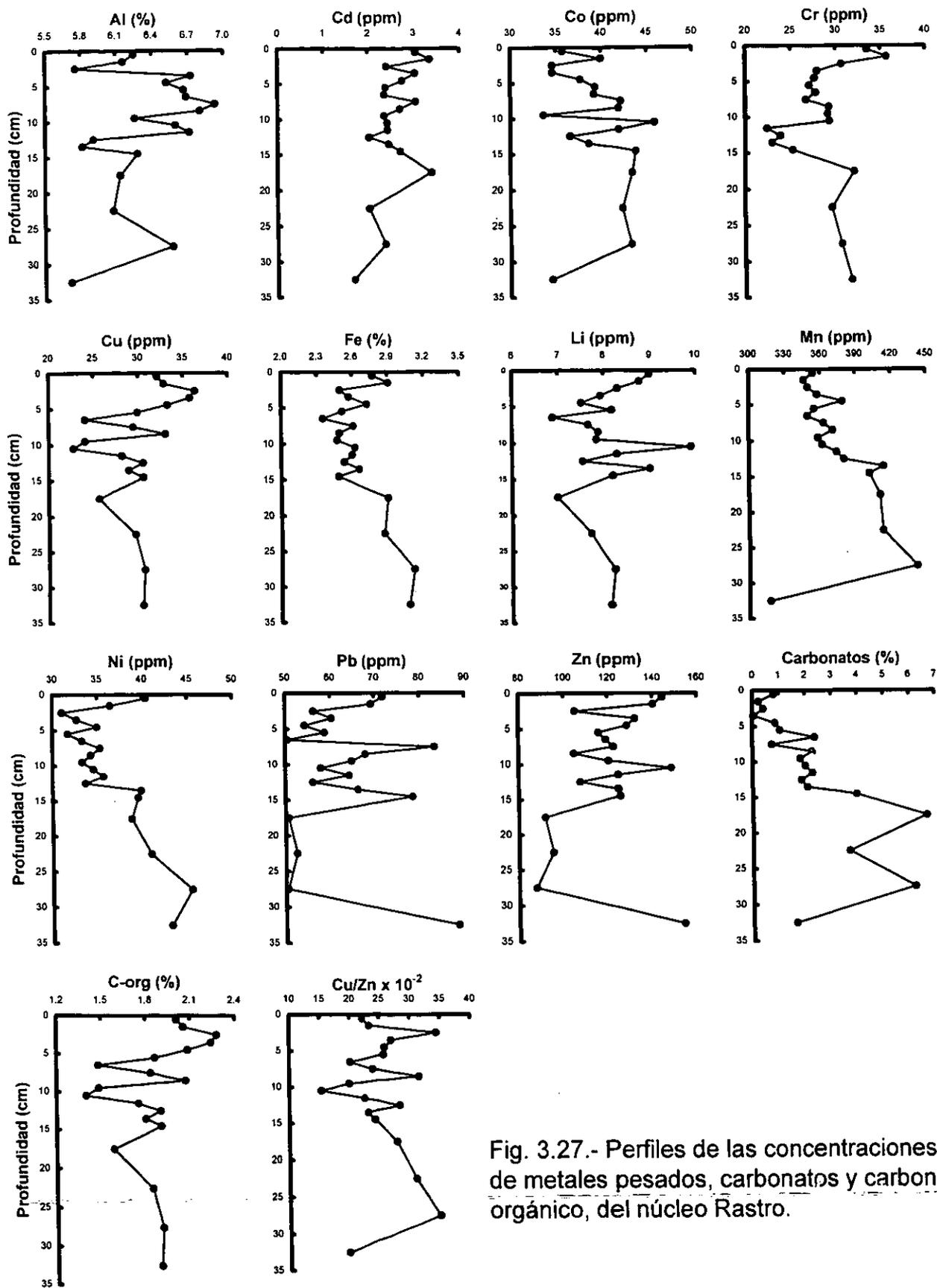


Fig. 3.27.- Perfiles de las concentraciones de metales pesados, carbonatos y carbono orgánico, del núcleo Rastro.

Carbonatos

En el núcleo Rastro se observaron bajas concentraciones de carbonatos (< 1 %) en los primeros 5 centímetros, a partir de los cuales empieza a incrementarse casi hasta llegar a 7 % en el intervalo correspondiente a 15-20 cm de profundidad, lo cual refleja el relativo mayor aporte de terrígenos en los últimos años (Tabla 3.6; Anexo VII), en relación con los carbonatos depositados y/o precipitados.

Carbono orgánico

El promedio de carbono orgánico fue de 1.87 %, con concentraciones mayores a 2 % en los primeros cinco centímetros de profundidad, disminuyendo ligeramente hacia horizontes más profundos. Estos valores elevados son el resultado del incremento de las diversas actividades antropogénicas que se llevan a cabo en esa zona, tales como: el funcionamiento de empacadoras de atún y camarón, producción de harina de pescado, rastro municipal, etc. Sin embargo, estos valores son menores al 50 % de los contenidos de carbono orgánico observado por Soto-Jiménez (1998), en un núcleo obtenido en la parte media del estero de Urías, donde los principales aportes de materia orgánica provienen de la productividad de los bosques de manglar existentes en esa zona.

Los valores mínimos encontrados entre las secciones 6-7 cm y 10-11 cm, y el incremento de las concentraciones de carbono orgánico en las secciones superiores, pueden ser el resultado de la combinación, por un lado, de la disminución del aporte de material orgánico, debido al cierre permanente de los canales que comunicaban el estero con el Río Presidio, y una baja en la productividad del manglar, como lo sugiere Soto-Jiménez (1998), y por otra parte, al incremento en la actividad industrial en la zona donde se obtuvo el núcleo El Rastro. Asimismo, el contenido de carbono orgánico disminuye hacia las capas más profundas como resultado de la mineralización progresiva de la materia orgánica, lo cual ha sido observado en numerosos sitios (e.g. Páez-Osuna, 1988; Gagnon *et al.*, 1993).

Páez-Osuna y Osuna-López (1987) mencionan que Manheim (1961) propone el empleo del comportamiento del perfil Cu/Zn, para averiguar los cambios redox de la columna sedimentaria, el cual se ha notado que se incrementa en los sedimentos cuando el ambiente cambia de condiciones oxidantes a reductoras. En el caso del núcleo El Rastro, los perfiles correspondientes de carbono orgánico y Cu/Zn son similares; es decir, cuando se incrementa la cantidad de material orgánico, el sedimento tiende a tener condiciones reductoras, debido al consumo de oxígeno, reflejándose en el aumento en la relación Cu/Zn.

Tabla 3.7.- Matriz de los coeficientes de correlación de los parámetros determinados en sedimentos del núcleo El Rastro, estero de Uriás, Mazatlán. ($P < 0.01$).

	Fe	Mn	Ni	Zn	CO ₃ ⁼	Prof.
Cd						-0.56*
Co		0.54*			0.58	
Cr	0.54*					
Fe			0.80			0.61
Li				0.54*		
Mn			0.48*	-0.68	0.76	
Ni					0.58	0.74
Pb				0.60		
Zn					-0.62	
CO ₃ ⁼						0.66

* $P < 0.05$

Aluminio

El valor promedio de la cantidad de aluminio en el núcleo Rastro fue de 6.35 ± 0.38 %. El máximo valor determinado (6.93 %), fue similar al promedio observado en las

muestras superficiales fuera del estero de Urías y menor a la concentración de este metal en casi la mitad de las muestras externas, por lo que se considera que el aporte de aluminio desde el interior del estero no es significativo, con respecto a las fuentes externas, como pueden ser corrientes litorales que acarrearán sedimentos terrígenos. En general, el contenido de Al observado a lo largo de la columna sedimentaria fue mayor al encontrado por Soto-Jiménez (1998) en la parte media del estero, donde el contenido de materia orgánica es mayor, diluyendo la concentración de este metal terrígeno.

Asimismo, el perfil de este metal con respecto a la profundidad de la sección del núcleo tuvo un comportamiento opuesto a aquel del carbono orgánico, evidenciando su asociación con material inorgánico (minerales) más que orgánico.

Por otro lado, Páez-Osuna (1988) encontró valores de concentración de aluminio similares a los hallados en este estudio, en un núcleo en el exterior del estero, pero cercano a su boca (23° 10.5' N y 106° 25.3' W).

Cadmio

El perfil de la concentración de Cd en el núcleo (2.6 ± 0.4 ppm) mostró una disminución continua desde la superficie hacia el fondo, de manera similar al contenido de carbono orgánico, pudiendo sugerir que existe una asociación de este metal con desechos orgánicos industriales, como la encontrada por Andrews et al. (1999) en el puerto de Kingston, o del rastro que se ubica en esta zona, sin embargo, no presenta ninguna correlación significativa ni con carbono orgánico ni con alguno de los parámetros analizados.

Lo anterior también puede significar que existe una migración ascendente de este metal a lo largo de los primeros centímetros de la columna sedimentaria, donde los cambios en las condiciones de óxido-reducción varían drásticamente, tal como lo han observado en núcleos obtenidos en otras localidades (Páez-Osuna y Osuna-López, 1987; Szefer y Skwarzec, 1988). De manera tal que en la zona de reducción, los metales son liberados

y movilizados a través del sedimento hacia la zona superior oxidada, en donde son readsorbidos por el material orgánico y los óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso (Páez-Osuna y Osuna-López, 1990c). Hirschberg *et al.* (1996) observaron el mismo comportamiento en cuatro núcleos obtenidos en la cuenca de drenaje del Río Hudson, New York, USA. Li *et al.* (2000) mencionan que el hecho de tener los valores más altos de metales en la parte superficial de los núcleos sugiere el aumento en el aporte de estos elementos desde diversas fuentes hacia los cuerpos de agua.

Los valores de Cd determinados en el núcleo El Rastro son mayores a los detectados por Páez-Osuna (1988) en un núcleo de la plataforma continental cercano a la boca del estero y por Soto-Jiménez (1998) en la parte media del estero, posiblemente relacionado a la cercanía de las fuentes de aporte de este metal.

Cobalto

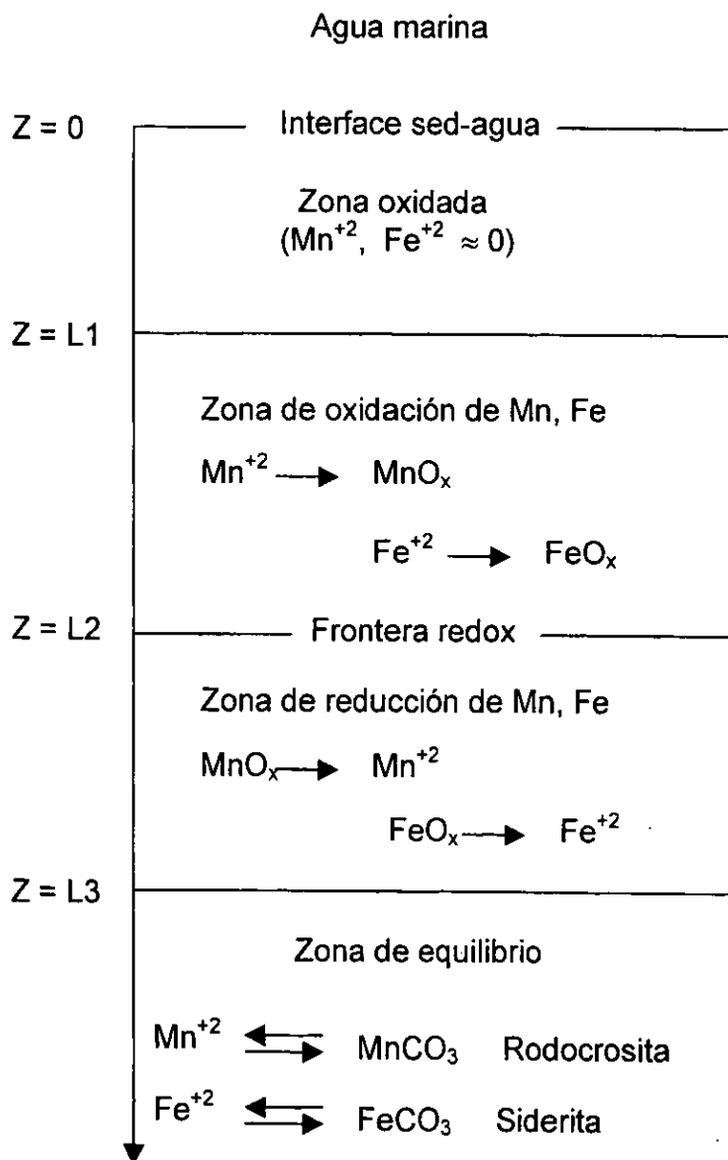
El perfil correspondiente al nivel de cobalto en las secciones del núcleo Rastro muestra concentraciones intermedias (39.4 ± 3.7), en comparación a los valores observados en la bahía, con los menores contenidos en la parte superficial, incrementándose gradualmente conforme aumenta la profundidad de las secciones. Las correlaciones significativas entre este metal y Mn ($r = 0.54$) y los carbonatos ($r = 0.58$), sugieren una asociación mineralógica como resultado de la formación diagenética de Rodocrosita (Fig. 3.28).

De acuerdo con Bothner *et al.* (1998), existen algunas causas potenciales de reducción de la concentración de los metales en las secciones superficiales, tales como la bioturbación provocada por organismos excavadores, el mezclado, el transporte físico de las partículas contaminadas y el flujo difusivo de los metales disueltos. Esto último puede ser el mecanismo que explique el perfil de Co, dadas las condiciones reductoras evidenciadas por el perfil de Mn y la evidente fetidez propiciada por el ácido sulfúrico.

Los valores de la concentración de Co a lo largo de la columna sedimentaria en los

núcleos analizados por Páez-Osuna (1988) y Soto-Jiménez (1998) son menores a los encontrados en el perfil del núcleo El Rastro, sin que en los primeros se observara algún patrón definido.

Fig. 3.28.- Representación esquemática de la zonación en la columna sedimentaria con respecto a la diagénesis del Mn (modificado de Burdige y Gieskes, 1983).



Cromo

En relación con el perfil de cromo en el núcleo Rastro, se observaron valores intermedios (28.6 ± 3.5), decreciendo notable desde la superficie hasta los 14 cm, aproximadamente; a partir de los cuales se incrementa drásticamente alcanzando niveles similares a los de las secciones superficiales, manifestando un comportamiento similar al del cadmio, sugiriendo que los mismos procesos están gobernando el comportamiento geoquímico estos metales. Huang *et al.* (1994) y Andrews *et al.* (1999) presentan un perfil similar para este metal en núcleos colectados en la laguna de Piratininga, Brazil, y en el puerto de Kingston, Jamaica, respectivamente, sin embargo, no explican a que se pueda deber.

Gagnon *et al.* (1993) observaron en un núcleo obtenido en el fiordo de Saguenay, Canadá, un enriquecimiento en las concentraciones de Cr, el cual atribuyen a la eficiencia de partículas biogénicas marinas para atrapar metales. Este mismo proceso puede estar influenciando el incremento del contenido de este metal en la distribución vertical a partir de la sección 14-15 cm del núcleo Rastro hacia las capas más profundas, donde aumenta el contenido de carbonatos. Aunado a lo anterior, este metal se correlacionó significativamente con el Fe ($r = 0.54$), sugiriendo que los óxidos de hierro también influyen los procesos geoquímicos del cromo.

Cobre

El cobre se comportó como el cadmio y el cromo, mostrando un flujo del metal desde las capas más profundas hacia la superficie, siendo similar al presentado por Huang *et al.* (1994). Alternativamente, el enriquecimiento superficial se puede deber a un incremento en la contribución de este metal provocado por una mayor actividad antropogénica en los años recientes, como lo menciona Soto-Jiménez (1998), quien encontró un comportamiento similar en un núcleo obtenido en la región intermedia del estero de Urías, cuyas concentraciones de Cu fueron parecidas a las detectadas en el núcleo El Rastro. Asimismo, tanto los valores como el comportamiento del contenido de este metal en el núcleo analizado en este estudio fueron similares a los observados por

Páez-Osuna (1988), en un núcleo en la región exterior adyacente a la boca estuarina, así como por Huang et al. (1994) en un perfil sedimentario de la laguna de Piratininga, Brazil, y Hirschberg et al. (1996), en cuatro núcleos obtenidos en el estuario del Río Hudson.

Manheim (1961) sugirió el empleo de la relación Cu/Zn como un indicativo de las condiciones oxido-reductoras de la columna sedimentaria, aún cuando ambos metales se comportan geoquímicamente en forma similar. En condiciones óxicas, el cobre tiene una mayor tendencia a la quelación que el Zn, de manera tal que en condiciones variables de redox deben reflejarse en un cambio en la relación Cu/Zn en la fase sólida, siendo mayor en condiciones reductoras.

Los altos valores de cobre en el núcleo el Rastro (29.9 ± 3.8 ppm), con relación a aquellos encontrados en los sedimentos de la Bahía de Mazatlán, sugieren que la bahía está influenciada por el aporte de dicho metal desde el interior del estero de Urías, donde se presentaron altos niveles en todas las secciones del núcleo El Rastro, posiblemente debido a la cercanía de la zona industrial.

Hierro

En el núcleo Rastro el contenido promedio de hierro (2.7 ± 0.2 %) fue similar a los valores encontrados en la Bahía de Mazatlán. En el perfil correspondiente se observa una pequeña disminución desde la superficie hasta los 5-6 cm, y posteriormente las concentraciones se incrementan nuevamente, alcanzando los mayores valores en las secciones más profundas, lo cual, por una parte coincide con el comportamiento del contenido de carbonatos, y por otra, con el proceso de migración ascendente que se observa en los perfiles de Cd, Cr y Cu.

Hirschberg *et al.* (1996) analizaron cinco núcleos obtenidos en el estuario del río Hudson, encontrando el mismo comportamiento para Fe y Mn; es decir, estos metales presentan sus máximas concentraciones en las secciones profundas de la columna

sedimentaria.

Burdige y Gieskes (1983), proponen un modelo de zonación en la columna sedimentaria con respecto a la diagénesis del Mn, que también puede ser aplicado al Fe (Fig. 3.28), y que explica los altos contenidos de estos metales en las secciones profundas del núcleo.

En su modelo, estos autores dividen la columna sedimentaria en cuatro zonas distintas: (1) Una zona oxidada en la cual los óxidos de manganeso (y hierro), de primera generación, se acumulan y la concentración de Mn^{+2} disuelto es prácticamente cero; (2) Una zona de oxidación del manganeso, en donde el Mn^{+2} se incrementa conforme aumenta la profundidad, como resultado de la difusión este ión desde abajo, a través de la frontera de oxido-reducción y su consecuente consumo en la zona de oxidación; (3) Una zona de reducción, en la que los óxidos que alcanzan esta profundidad son utilizados como oxidantes secundarios, liberando Mn^{+2} y por consiguiente disminuyendo la presencia de este metal en la fase sólida; y (4) Una zona de equilibrio, en donde la concentración de Mn disuelto alcanza su máximo y empieza a disminuir debido a la formación de minerales carbonatados del grupo de la rodocrosita (o siderita en el caso de hierro), los cuales pueden asociarse con otros metales.

Lo anterior demuestra que diversos procesos pueden estar influyendo simultáneamente en el comportamiento geoquímico de los perfiles de los metales examinados. Los valores de la concentración de Fe detectados en este estudio son similares a los encontrados Pàez-Osuna (1988), en el exterior de la boca del estero de Urías, y Soto-Jiménez (1998), en la parte media de dicho cuerpo de agua.

Litio

En el núcleo los valores determinados (8.1 ± 0.7 ppm), fueron comparables a los encontrados en la Bahía de Mazatlán, mostrándose en el perfil una disminución desde la superficie hasta los 6 cm de profundidad, para posteriormente incrementarse hasta

alcanzar valores cercanos a 10 ppm a los 10 cm y nuevamente disminuir. Este comportamiento puede estar relacionado con la migración de los metales desde secciones más profundas, hacia la superficie, como se ha mencionado anteriormente. Aún cuando este comportamiento también fue observado por Soto-Jiménez (1998), en un núcleo de la región media del estero de Urías, los valores del contenido de Li en el núcleo El Rastro fueron menores, posiblemente debido al efecto dilutorio del aporte de material orgánico, el cual es mayor en la zona del rastro municipal, donde se obtuvo el núcleo utilizado para este estudio.

Manganeso

Existe un aumento en el contenido de este metal conforme se incrementa la profundidad de las secciones analizadas, hasta llegar a un máximo en 25-30 cm, lo cual es explicado mediante el modelo de Burdige y Gieskes, (1983) (Fig. 3.28). Este metal mostró una correlación significativa con los carbonatos ($r = 0.76$), lo que podría indicar que existe la formación de rodocrosita. Este comportamiento también fue observado por Páez-Osuna y Osuna López (1987), en la laguna de Mitla, Guerrero y por Hirschberg *et al.* (1996), en el estuario del Río Hudson.

Los valores del contenido de manganeso en el núcleo El Rastro (entre 318 y 443 ppm) fueron comparables a las mínimas concentraciones encontradas en la Bahía de Mazatlán y en la boca del estero de Urías (estación MZ4), lo cual sugiere que no existe un aporte significativo de Mn desde el interior del estero, aun cuando Osuna-López *et al.* (1997), encontraron altas concentraciones de este metal en el Estero del Infiernillo. Asimismo, estos valores fueron ligeramente mayores a los encontrados por Soto-Jiménez (1998), en un núcleo de la región central del estero, en tanto que, Páez-Osuna (1988) observó en un núcleo de la zona externa de la boca del dicho cuerpo de agua concentraciones de Mn equivalentes al doble de aquellos detectados en el núcleo El Rastro.

Níquel

El perfil de níquel se correlaciona significativamente con el contenido de carbonatos ($r = 0.58$) y de Mn ($r = 0.48$), mostrando una disminución muy marcada en la concentración de este metal desde la superficie hacia los primeros 3 cm, para posteriormente elevarse en las secciones más profundas. Dicho comportamiento también se puede explicar a través del modelo de Burdige y Gieskes (1983), aunado al proceso de migración ascendente.

Gagnon *et al.* (1993) encontraron enriquecimientos de Ni en núcleos del fiordo Saguenay, Canadá, los cuales atribuyen a la eficiencia de las partículas biogénicas (carbonatadas) para atrapar este metal. Asimismo, Zwolsman *et al.* (1996) mencionan que existe una fuerte asociación entre Ni y Mn en sedimentos del estuario de Scheldt, aclarando que las condiciones redox de los sedimentos determinan el grado al cual ocurre la movilización de Mn y el Ni asociado. En el caso del núcleo El Rastro, los valores de níquel se correlacionaron con Mn ($r = 0.48$), Fe ($r = 0.80$) y con los carbonatos ($r = 0.58$), lo que sugiere la posibilidad de que se esté llevando a cabo el proceso descrito por Burdige y Gieskes (1993).

El promedio de la concentración de Mn en el material sedimentario del núcleo fue de 36.6 ± 4.1 ppm. Aún cuando se detectaron valores superiores a los encontrados en los sedimentos de la bahía, el aporte desde el interior del Estero de Urías no es significativo, dado el bajo valor que presentó la estación MZ4, situada en la boca de dicho cuerpo de agua.

Plomo

A excepción del máximo valor de contenido de Pb, detectado en la sección 30-35 cm del núcleo El Rastro, se observa que en las secciones del fondo se presenta la concentración básica de este metal, la cual se incrementa de manera abrupta a los 14-15 cm de profundidad, posiblemente relacionada con el inicio o aumento de las

industrias debido al inicio de la operación del Parque Industrial Bonfil, a fines de los años 70s y principios de los 80s, aledaño a la zona donde se obtuvo el núcleo y donde se encuentran los muelles de las flotas pesqueras y algunos astilleros; aunado al incremento de la población y, por tanto, en la cantidad de automóviles que utilizaban gasolina con plomo. Esto último fue observado en la cuenca de Santa Barbara, adyacente a la ciudad de Los Angeles, California (Schmidt y Reimers, 1991) y en la Bahía de Hunts, en el puerto de Kingston, Jamaica (Andrews *et al.*, 1999).

Entre las secciones 7-8 y 6-7 cm se observa una disminución importante en el nivel de Pb en los sedimentos. Este comportamiento puede estar relacionado con la disminución en el uso de gasolina con plomo a principios de la década de los 90s, como lo han sugerido diversos autores para otras partes del mundo (e.g. Shen y Boyle, 1987; Bothner *et al.*, 1998).

El aporte de plomo procedente del interior del estero de Urías hacia la Bahía de Mazatlán, se presume poco significativo, dado los valores intermedios a bajos que se determinaron en el núcleo (50.5 a 88.5 ppm), con relación a las concentraciones obtenidas para los sedimentos de la bahía. De hecho, Páez-Osuna (1988) detectó valores similares de concentración de este metal, en un núcleo en el exterior del estero, adyacente a la boca, en tanto que Soto-Jiménez (1998) encontró niveles de Pb menores, en un perfil sedimentario de la región central de este cuerpo de agua.

Zinc

En general, se puede observar que la concentración de Zn disminuye desde la superficie hacia el fondo del núcleo El Rastro, como producto del proceso de movilización ascendente de este metal, como se ha observado por Páez-Osuna (1988), en el exterior del estero de Urías, y por Soto-Jiménez (1998), al centro de dicho cuerpo de agua. Asimismo, diversos autores han encontrado el mismo comportamiento, como el resultado de la re-disolución del Zn, originalmente depositado, debido a las condiciones reductoras del sedimento, fluyendo hacia la superficie de la columna

sedimentaria y precipitándose en la zona de oxidación (Huang *et al.*, 1994; Leoni y Sartori, 1996; Hirschberg *et al.*, 1996).

El incremento a partir de las concentraciones básicas de Zn reflejado en la sección 14-15 cm, coincide con el aumento de plomo ($r= 0.60$), reforzando la idea de que posiblemente este ascenso en los contenidos de ambos metales se asocie al inicio de las operaciones industriales y de los muelles del Parque Bonfil, considerando además que el Zn es un componente de las pinturas empleadas por los barcos como antiincrustantes, y el Pb se puede asociar con las soldaduras utilizadas en los astilleros.

Por otro lado, los altos valores encontrados en el núcleo (120.7 ± 18.8 ppm), aunados a los encontrados por Soto-Jiménez (1998), sugieren un aporte de este metal hacia la Bahía de Mazatlán, desde el interior del estero de Urías.

Asimismo, Ruelas-Inzunza (1998) determinó la concentración de Zn en el tejido blando de *balanus* en cuatro sitios de muestreo a lo largo del estero, observando los mayores contenidos enfrente del Parque Bonfil, cercano a la zona donde se obtuvo el núcleo.

3.4 Análisis de componentes principales

Dado el número de parámetros aquí analizados, se procedió a utilizar un análisis de componentes principales con la finalidad de agrupar elementos, áreas de altas concentraciones y algunos procesos físicos, que pudiesen explicar el comportamiento de los contenidos de los metales en los sedimentos de la Bahía de Mazatlán.

En la tabla 3.8 se observa que tres componentes principales explican el 75.7 % de la varianza, siendo mínimo el incremento al realizar el análisis con mayor número de componentes. El componente 1 explica el 44.6 % de la varianza y se caracteriza por tener cargas altas positivas (> 0.7), para el contenido de carbonatos y negativas (< -0.7) para Al, Co, Cr, Fe, Li, Mn, Zn (Tabla 3.9), lo que sugiere una fuerte correlación entre estos metales debido a su origen común (terrigeno), así como lo susceptibles que son

las concentraciones de estos elementos al efecto de dilución de los carbonatos, con origen totalmente opuesto (biogénico).

Tabla 3.8.- Análisis de componentes principales para la concentración total de los metales pesados, carbonatos, carbono orgánico y porcentaje de sedimentos finos.

Eigenvalores		Extracción de los componentes principales		
Componente	Eigenvalor	% Varianza total	Eigenval acumul.	% acumulativo
1	6.2	44.6	6.2	44.6
2	2.7	19.4	9.0	64.1
3	1.6	11.6	10.6	75.7

Tabla 3.9.- Cargas de los parámetros en los tres componentes principales.

	C1	C2	C3
CO ₃ ⁼	0.76		
C-org		-0.86	
Al	-0.90		
Co	-0.87		
Cr	-0.75		
Cu		-0.91	
Fe	-0.93		
Li	-0.90		
Mn	-0.78		
Pb			-0.83
Zn	-0.91		

El segundo componente agrupa al Cu con el carbono orgánico, debido a la afinidad de

este metal con la materia orgánica y la formación de complejos Cu-orgánicos estables. Lo cual también se refleja en el alto coeficiente de correlación entre estos parámetros ($r = 0.87$). El tercer componente representa la independencia del Pb con respecto a los otros parámetros analizados. De hecho, este metal no se correlacionó con ninguno de los parámetros, a excepción del níquel con quien lo hizo en forma inversa.

Al graficar las cargas de las estaciones del componente C1 (Anexo VIII) contra las del C2 (Fig. 3.29), se observa una nube de puntos con similar comportamiento, sin embargo se diferencian las estaciones MZ23 y MZ16 con cargas negativas altas de C1 y bajas de C2, las cuales presentaron las mayores concentraciones de carbonatos y en general los más altos factores de enriquecimiento respecto al Al para Co, Cr, Fe, Li, Mn y Zn; y las estaciones MZ4, MZ24 y MZ30 con cargas mayores a 2 en C2, las cuales tienen los más altos contenidos de Cu y carbono orgánico.

3.5 Evaluación de la fracción de los metales relacionada con la descarga del emisor de aguas municipales

Ravizza y Bothner (1996) proponen estimar la contribución de metales provenientes de las descargas municipales hacia los sedimentos, empleando un modelo conservativo de mezclado físico de dos componentes. Este modelo asume dos extremos (1) la concentración de los metales en los sedimentos correspondiente a la descarga municipal, para lo cual, en el presente caso, se utilizó el valor encontrado por Soto-Jiménez (1998) para Cu (34.4 ppm), Fe (5.9 %) y Zn (177 ppm), y (2) la concentración regional en los sedimentos, empleándose en este estudio, los valores mínimos encontrados para Cu, Fe y Zn.

De acuerdo con el modelo, la fracción de Cu relacionado con el emisor es en promedio 12.4 % (Anexo IX), observándose valores intermedios (10 – 30 %) en la zona donde se ubica la descarga (Fig. 3.30a), y porcentajes mayores a 30 % en la boca del estero de Urías y en la estación MZ30, pudiendo estar asociados con el aporte de este metal que proviene del interior del estero, más que con el emisor.

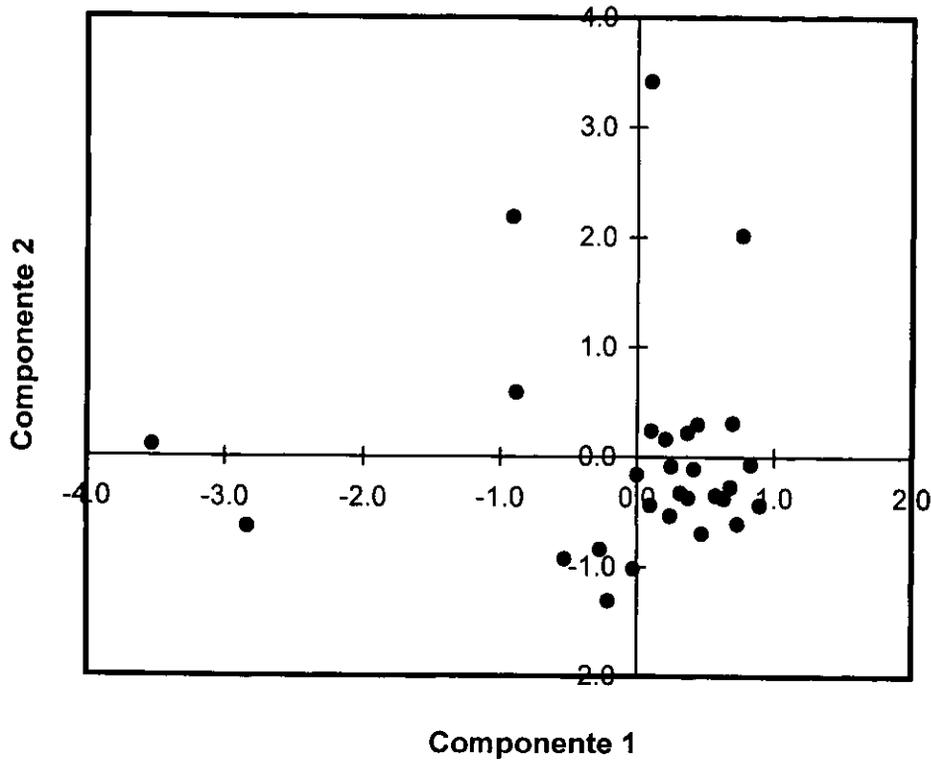


Fig. 3.29.- Análisis de componentes principales en sedimentos de Mazatlán, Sin.

Este mismo comportamiento lo presenta el Zn, aunque con porcentajes más altos (en promedio 41.2 %). Sin embargo, en este caso, se observan valores entre 47 y 50 % en las estaciones MZ18 y MZ19 (Fig. 3.30b), en la zona norte del área de estudio, donde el aporte posiblemente provenga de lugares más alejados, a través de las corrientes en dirección sureste (Montaño-Ley, 1985).

En lo referente a Fe, el componente de la concentración de este metal originado por el aporte desde el emisor es en promedio 41.3 %, con valores mayores al 50 % en las estaciones MZ11, MZ12, MZ24 y MZ6, estas dos últimas cerca de la zona del emisor (Fig. 3.31). Sin embargo, no se observa un patrón de disminución gradual conforme se aumenta la distancia a la descarga, lo cual significa que hay otros factores que están gobernando la distribución de este metal, tales como otras fuentes de aporte, y los procesos de adsorción propios de la diversidad de composición y textura de los sedimentos.

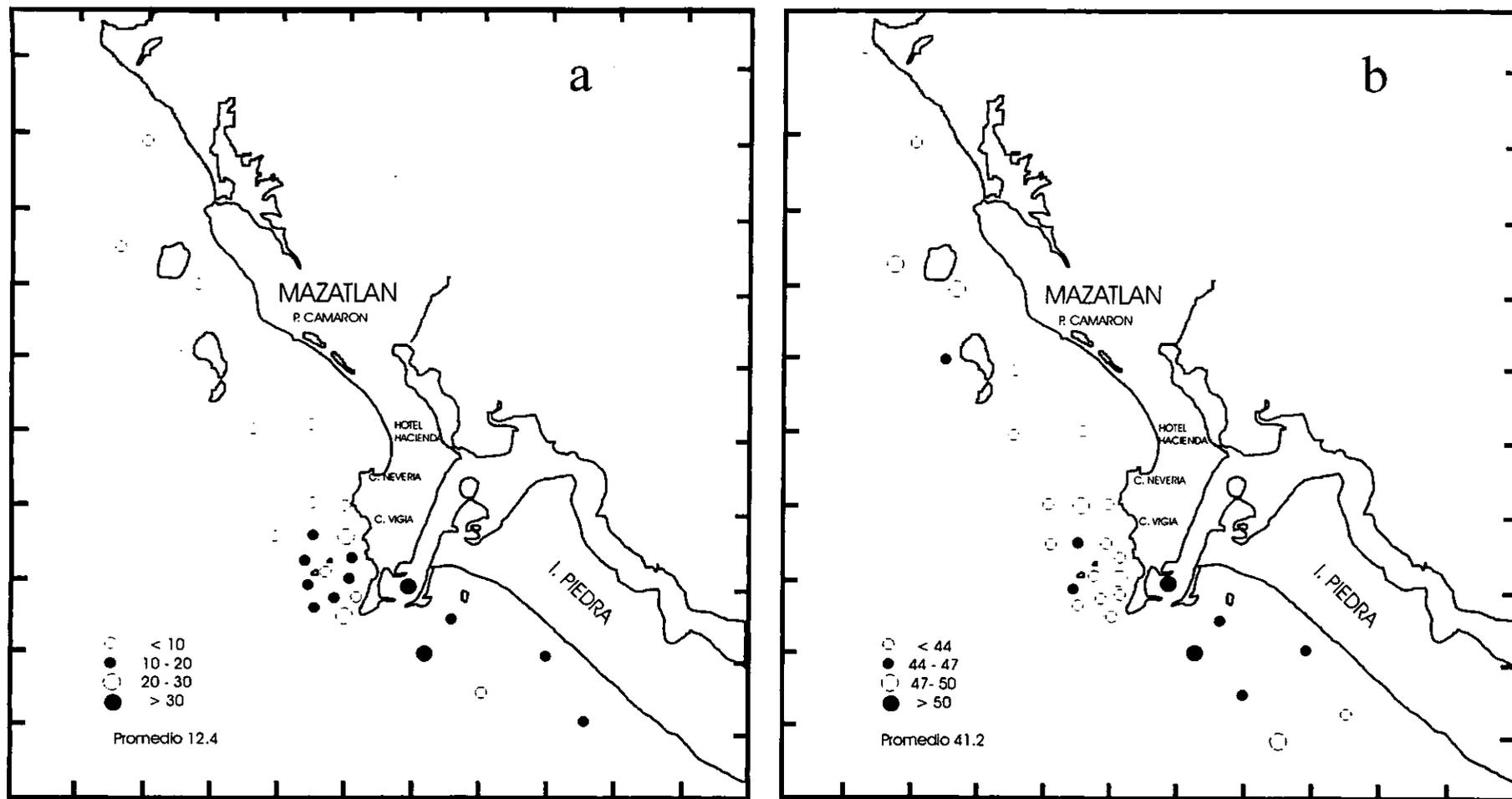


Fig. 3.30.-Distribución del componente de a) Cu y b) Zn provenientes del emisor (%).

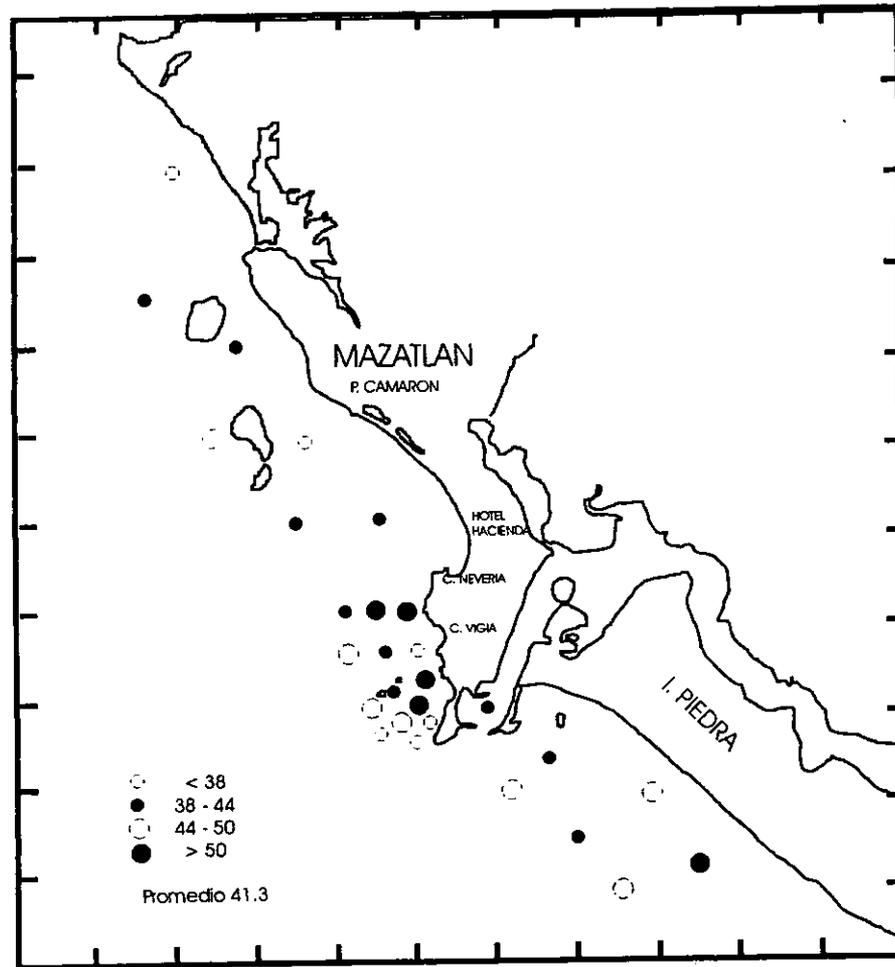


Fig. 3.31.- Distribución del componente de Fe proveniente del emisor (%).

CAPITULO 4

Características granulométricas, mineralógicas y geoquímicas de los sedimentos del sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo

4.1 Granulometría

El tamaño de grano del sedimento del sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo es limoso en la cabeza del sistema lagunar (Bahía de Ohuira), en las estaciones OH1 a OH9 (excepto OH4), con porcentajes mayores al 80 % de limo (Tabla 4.1; Anexo X). Hacia la zona del estrecho de San Carlos (unión de la bahías, se presenta una gradación a limo arenoso y a arena limosa, para finalmente convertirse en sedimento con más del 80 % de arena en la Bahía de Topolobampo, hacia la boca del cuerpo de agua (Fig. 4.1).

Este comportamiento está influenciado por el patrón energético e hidrodinámico que se presenta en la zona de estudio (Anónimo, 1990b), con condiciones de circulación más restringida en la Bahía de Ohuira y una mayor dinámica en la Bahía de Topolobampo. La estación OH4, que se ubica en el interior del dren 1° de mayo, proveniente del poblado de Juan José Ríos, posee un porcentaje de arena alto (38 %) en comparación de la zona adyacente (< 10 %), precisamente debido al flujo de agua del dren, lo cual provoca mayor nivel energético.

En un estudio granulométrico realizado en esta misma zona de estudio (Anónimo, 1990a), se encontró un patrón de distribución diferente, dominando la fracción arenosa en todo el sistema lagunar. Sin embargo, en dicho estudio se observaron sedimentos finos (limos) en la parte NE y SE de la Bahía de Ohuira, desde donde comienza a ser mayor el grano hacia la Bahía de Topolobampo, similar a lo encontrado en esta investigación.



Fig. 4.1.- Distribución del porcentaje de sedimentos finos.

Tabla 4.1.- Promedio, desviación estándar, máximo y mínimo de las concentraciones de sedimento fino, carbonatos, carbono orgánico y metales totales, en sedimentos superficiales del sistema lagunar de Ohuira - Topolobampo.

	Promedio	Desv. Están.	Máximo	Mínimo
Finos (%)	43.3	33.7	100.0	0.0
Montmorillonita (%)	5.2	3.2	13.7	1.7
Illita (%)	43.2	5.3	53.1	32.8
Caolinita (%)	51.6	5.6	63.2	42.4
Carbonatos (%)	20.7	24.3	87.7	Nd (<0.1)
C-orgánico (%)	1.1	0.9	3.7	Nd (<0.1)
Al (%)	4.9	1.7	8.1	1.1
Cd (ppm)	2.8	0.8	4.4	1.4
Co (ppm)	39.7	10.0	53.7	15.9
Cr (ppm)	29.9	11.9	56.5	6.2
Cu (ppm)	8.5	3.8	16.1	3.6
Fe (%)	1.9	0.7	3.0	0.1
Li (ppm)	8.9	3.5	16.4	1.6
Mn (ppm)	506	267	1190	199
Ni (ppm)	35.6	8.0	54.7	24.1
Pb (ppm)	53.1	11.2	78.0	22.0
Zn (ppm)	61.6	20.8	102.5	17.4

Nd = No detectado.

4.2 Mineralogía de la fracción arcillosa de los sedimentos

La montmorillonita es escasa en el sistema lagunar (1.7 a 13.7 %) (Tabla 4.1; Anexo X), además de no presentar ningún patrón definido en su distribución (Fig. 4.2a). Este mineral se correlacionó significativamente con el contenido de hierro en los sedimentos

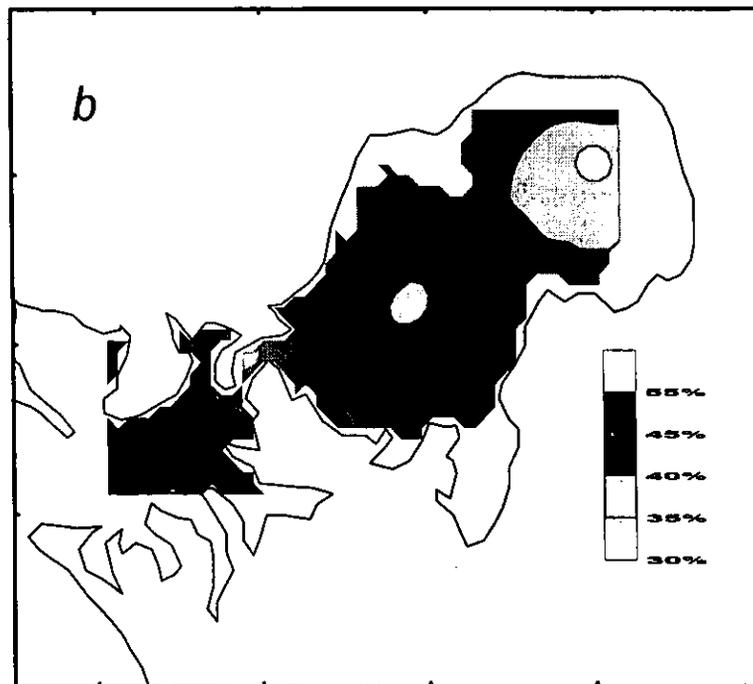
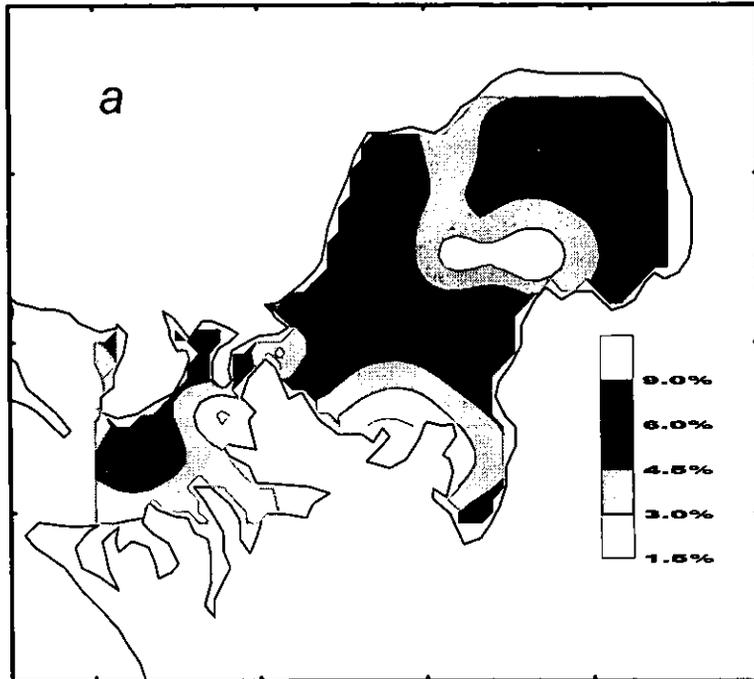


Fig. 4.2.-Distribución de las concentraciones de a) montmorillonita y b) illita.

($r = 0.41$). Horowitz (1991) menciona que los minerales arcillosos son excelentes captadores de material orgánico e hidróxidos de Fe y Mn. Y tal parece que, en el caso de esta zona de estudio, existe una preferencia de la montmorillonita por asociarse con el hierro.

En cuanto a la illita, este fue el segundo mineral en abundancia relativa en la fracción arcillosa. Presentó valores entre 32.8 y 53.1 %, con un promedio de 43.2 ± 5.3 %, incrementándose desde la cabeza de la Bahía de Ohuira hacia la boca de la Bahía de Topolobampo (Fig. 4.2b), de forma contraria a la distribución mostrada por la caolinita (Fig. 4.3a), cuyo promedio fue 51.6 ± 5.6 %, con un intervalo que osciló entre 42.4 y 63.2 %.

La relación illita/caolinita ha sido empleada como un indicador del carácter marino o estuarino de los sedimentos (Weaver, 1989), el cual funciona positivamente en esta zona de estudio, dado que se presentan valores menores a la unidad (dominancia de caolinita) en el interior de la Bahía de Ohuira, y mayores a 1 (dominancia de illita) en el ambiente más marino de la Bahía de Topolobampo (Fig. 4.3b).

Ambos minerales se correlacionaron significativamente con el contenido de sedimentos finos y con las concentraciones de carbono orgánico, Co, Cu, Li, Mn, Ni y Zn (Tabla 4.2); pero, mientras que la caolinita lo hizo en forma directa, la illita presentó correlaciones inversas. Lo anterior como resultado de la correlación, también inversa, entre estos minerales ($r = -0.82$) y la preferencia de los mencionados minerales y el carbono orgánico a asociarse con la caolinita.

4.3 Análisis geoquímico

4.3.1 Carbonatos

La concentración promedio de los carbonatos en los sedimentos superficiales del sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo es de 21.2 ± 24.3 %, con un

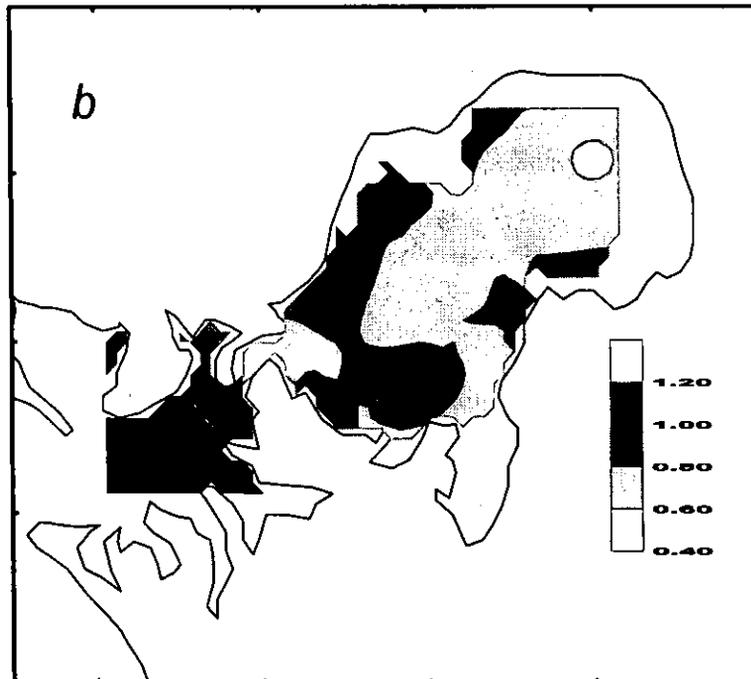
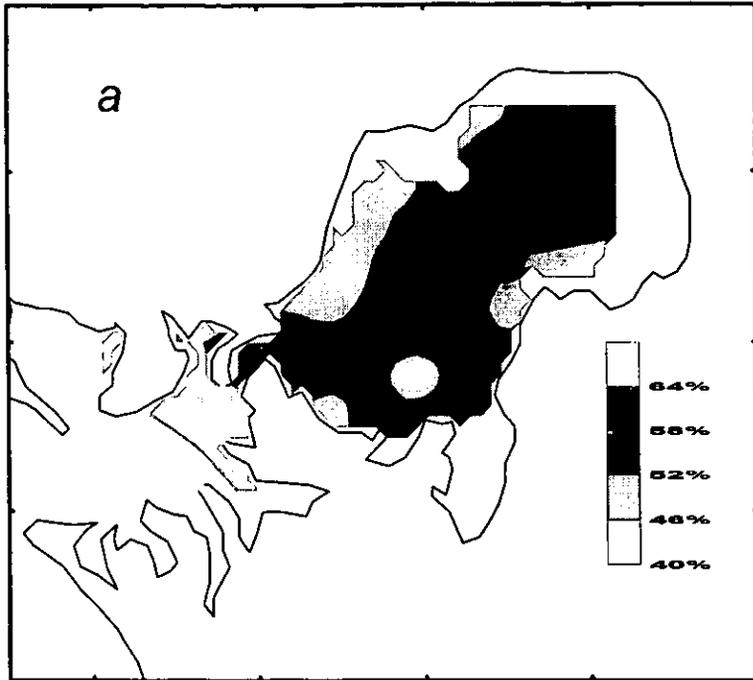


Fig. 4.3.-Distribución de a) la concentración de caolinita y b) relación illita/caolinita.

Tabla 4.2.- Matriz de los coeficientes de correlación de los parámetros determinados en sedimentos superficiales del sistema lagunar Ohuira - Topolobampo.

	Illita	Caol.	C-org	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Zn
Finos	-0.52	0.48	0.81	0.40		0.38*	0.49	0.90	0.55	0.81	0.75	0.82		0.74
Mont.		-0.37*							0.41					
Illita		-0.82	-0.47			-0.36*		-0.69		-0.62	-0.43	-0.75		-0.49
Caol.			0.43			0.31*		0.66		0.59	0.35*	0.60		0.41
CO ₃ ⁻				-0.78	0.55	-0.80	-0.60		-0.66	-0.60			0.65	-0.63
C-org				0.33*			0.42	0.83	0.44	0.75	0.84	0.77		0.68
Al					-0.33*	0.79	0.46		0.61	0.70	0.37*	0.41	-0.58	0.68
Cd						-0.42							0.30*	
Co							0.60	0.34*	0.61	0.71		0.52	-0.49	0.72
Cr								0.47	0.79	0.74	0.57	0.64		0.74
Cu									0.53	0.78	0.77	0.82		0.75
Fe										0.80	0.65	0.69	-0.32*	0.86
Li											0.77	0.85		0.95
Mn												0.75		0.75
Ni														0.84

* P < 0.05 , el resto en P < 0.01. Verificado por una prueba "t" de student's

intervalo que oscila entre no detectable (<0.1%) y 87.7% (Tabla 4.1; Anexo XI). Las mayores concentraciones se ubican en el estrecho que comunica los dos cuerpos lagunares (Fig. 4.4a), en donde la fracción arenosa es mayor al 80 %, debido a la alta energía que prevalece en el canal que existe en dicha región (Anónimo, 1990b).

4.3.2 Carbono orgánico

El contenido de carbono orgánico en los sedimentos varía entre no detectable y 3.7 %, con un promedio de 1.1 ± 0.9 % (Tabla 4.1; Anexo XI). Los máximos valores se ubicaron hacia la cabeza de la Bahía de Ohuira (estaciones OH3, OH4, OH5, OH9), como resultado del aporte de este material por el dren 1° de mayo que proviene del poblado de Juan José Ríos y recibe los escurrimientos de los drenes agrícolas adyacentes (Fig. 4.4b).

En la estación OH31, que se localiza en el canal de San Carlos, existe una pequeña entrada (correspondiente a la dársena de los transbordadores), donde la energía es menor a la zona adyacente y propicia el depósito de sedimento fino y de material orgánico. De tal forma que, aunque no presente un alto valor respecto a la totalidad de los sitios de muestreo, si sobresale de las estaciones adyacentes.

Anónimo (1990a) determinó la concentración de carbono orgánico en sedimentos de este sistema lagunar y observó, prácticamente, la misma distribución que en esta investigación; los valores más altos hacia la cabeza de la Bahía de Ohuira y una disminución en el contenido hacia la Bahía de Topolobampo. Tal como se ha observado en otros sistemas costeros estudiados (CINVESTAV, 1989; González *et al.*, 1991; Green-Ruiz, 1996), en esta zona de estudio se presenta una correlación significativa entre el carbono orgánico y la concentración de sedimento fino ($r=0.81$), así como con Al (0.33), Cr (0.42), Cu ($r=0.83$), Fe (0.44), Li ($r=0.75$), Mn ($r=0.84$), Ni ($r=0.77$) y Zn ($r=0.68$), evidenciando la influencia de esta variable sobre la geoquímica de dichos elementos.

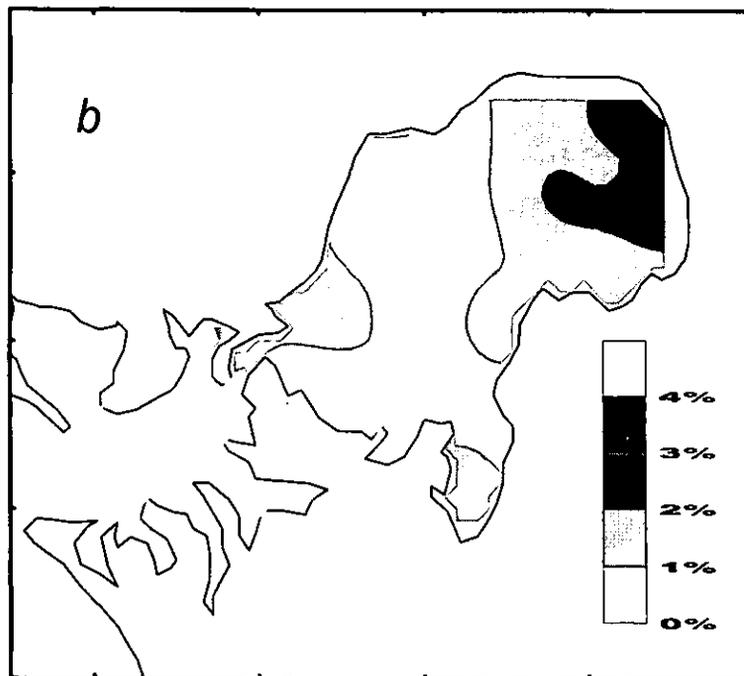
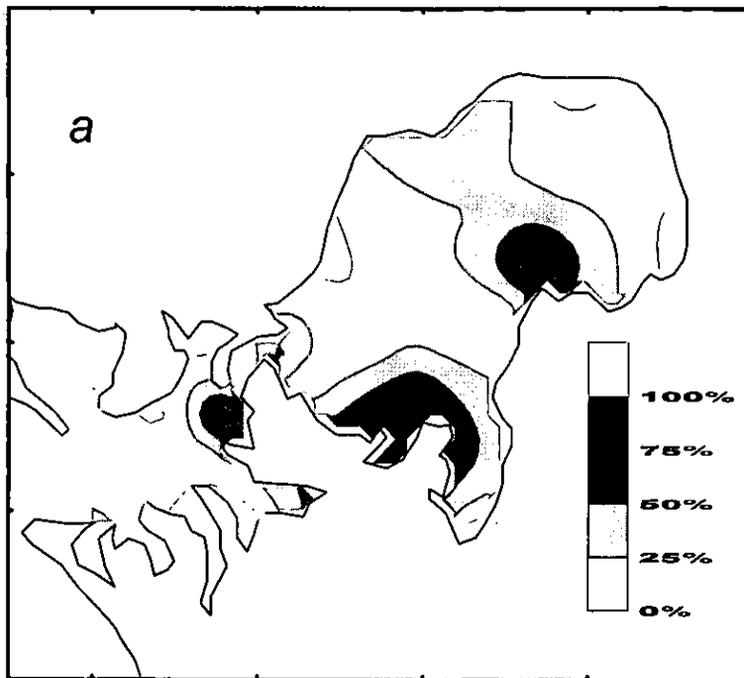


Fig. 4.4.- Distribución de la concentración de a) carbonatos y b) carbono orgánico

4.3.3 Metales en sedimentos del sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo

4.3.3.1 Distribución de los metales en los sedimentos superficiales

Las concentraciones totales promedio de los metales en los sedimentos superficiales, así como su desviación estándar, máximo y mínimo se muestran en la tabla 4.1, en tanto que los datos completos se presentan en el anexo XII. Los coeficientes de correlación entre estos parámetros se observan en la tabla 4.2.

Los valores resumidos correspondientes a los factores de enriquecimiento empleando Al y Li como elementos conservativos se muestran en la tabla 4.3 y los datos nominales en los anexos XIII, XIV y XV, respectivamente.

Tabla 4.3.- Factores de enriquecimiento, empleando Al (FE_{Al}) y Li (FE_{Li}) como elementos conservativos e índice de geoacumulación (I_{geo}) de los sedimentos superficiales del sistema lagunar de Ohuira - Topolobampo.

	FE_{Al}	FE_{Li}	I_{geo}
Cd	---	---	3.2 ± 0.4
Cr	0.5 ± 0.2	1.0 ± 0.3	-3.4 ± 0.7
Cu		0.6 ± 0.3	-4.3 ± 0.6
Fe	0.7 ± 0.2	1.4 ± 0.4	-3.0 ± 0.8
Mn	0.9 ± 0.6	1.8 ± 1.0	-2.7 ± 0.7
Ni	0.9 ± 0.5	1.8 ± 0.9	-2.7 ± 0.3
Zn	1.3 ± 0.4	2.7 ± 0.4	-2.0 ± 0.6

--- No calculados debido a que no se correlacionaron significativamente con Al y Li.

Aluminio

La concentración promedio de aluminio en los sedimentos superficiales del sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo es de $4.9 \pm 1.7\%$, con un valor máximo de 8% y un mínimo de 1.1%. Las mayores concentraciones se localizan en la cabeza de la Bahía de Ohuira (estaciones OH1, OH7 y OH8) y en la zona oeste de ese cuerpo de agua (estación OH18). En ambos casos, asociados a las descargas de drenes agrícolas (Fig. 4.5).

Este metal se correlaciona inversamente con los carbonatos ($r=-0.78$), indicando el efecto dilutor que los componentes biogénicos ejercen sobre las concentraciones del aluminio. Por otra parte, se evidencia un origen común al de Co ($r=0.79$), Cr ($r=0.46$), Fe ($r=0.61$), Li ($r=0.70$), Mn (0.37), Ni (0.41) y Zn ($r=0.68$), o un proceso de adsorción de dichos metales por los minerales con un elevado contenido de aluminio (aluminosilicatos).

De los dos elementos conservativos (Al y Li) empleados en este trabajo para normalizar los datos, así como para calcular los factores de enriquecimiento (Buat Menard, 1979), el aluminio presentó menores coeficientes de correlación con los metales, el carbono orgánico y la proporción de sedimentos finos, siendo esto último un factor decisivo al escoger el elemento conservativo que se utiliza con más éxito en el proceso de normalización, por lo que en el caso de esta zona de estudio, sólo se analizaron los resultados correspondientes utilizando Li.

Por otro lado, al graficar estos metales (Fig. 4.6), se observa que las estaciones OH18, OH23 y, en menor grado, la estación OH39, poseen mayor contenido de aluminio que el esperado considerando su concentración de litio. Las primeras dos estaciones (OH18 y OH23) se ubican cerca de la desembocadura del dren Los Mochis, el cual transporta parte de las aguas municipales de la ciudad del mismo nombre, de un ingenio azucarero y atraviesa los campos agrícolas.

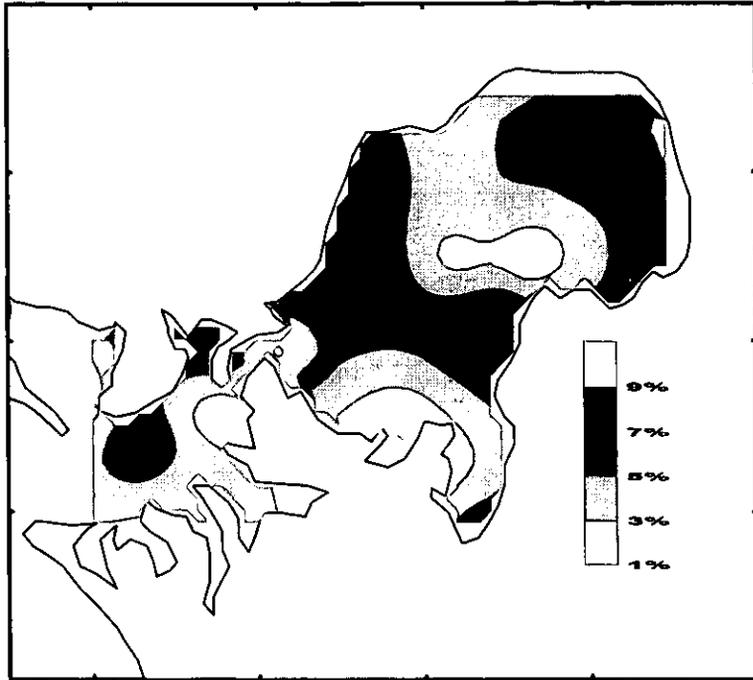


Fig. 4.5.-Distribució de concentració total de aluminió.

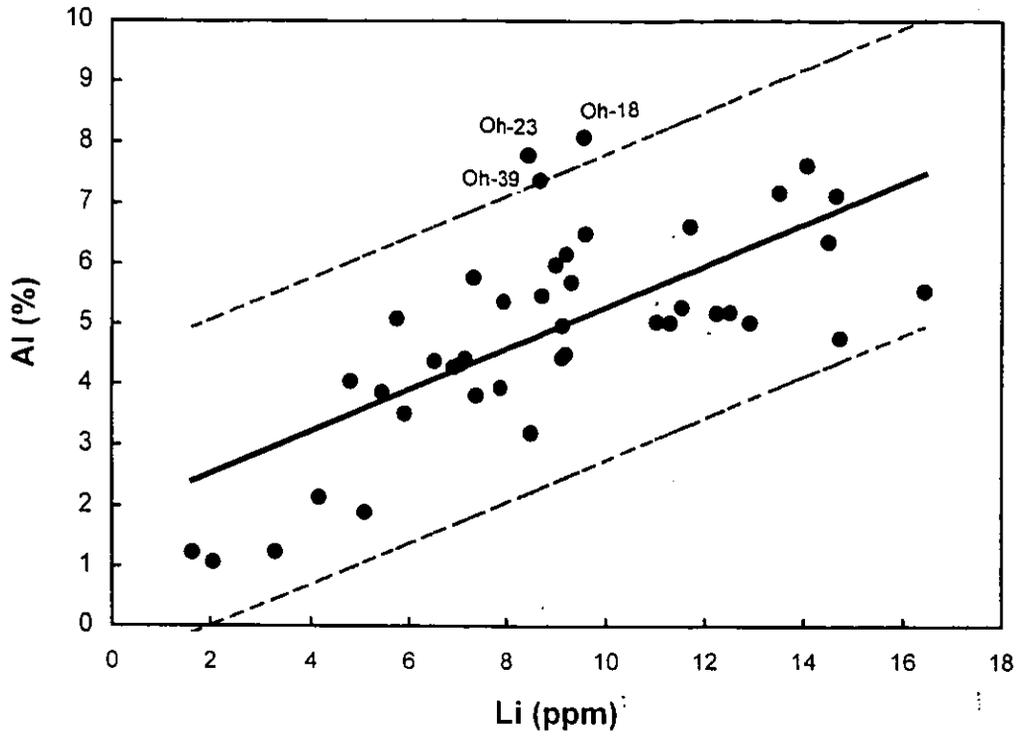


Fig. 4.6 Concentración de Al contra Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar),

Cadmio

El contenido de cadmio oscila entre 1.4 y 4.4 ppm, presentando un promedio de 2.8 ± 0.8 ppm. Los valores mas altos (estaciones OH26 y OH28) se asocian a las máximas concentraciones de carbonatos (Fig. 4.7a). Además, la estación OH28, se ubica frente al dren Los Mochis, el cual atraviesa los campos agrícolas. Según Alloway (1990), los fertilizantes fosfatados contienen aproximadamente entre 0.1 y 170 ppm de cadmio. Por su parte, Alvarez-Arellano y Páez-Osuna (1995) mencionan la existencia común de valores altos de cadmio en fosforitas, las cuales son materia prima en la producción de fertilizantes. Este metal se correlacionó negativamente con Al ($r = -0.33$) y Co ($r = -0.42$), presentando un comportamiento geoquímico diferente al resto de los metales estudiados. Sin embargo, se asoció en forma positiva con la cantidad de carbonatos en los sedimentos ($r = 0.55$), y con el Pb ($r = 0.30$; $p < 0.05$).

Dado que no existe correlación significativa entre este metal y aluminio ni litio, no se calcularon los factores de enriquecimiento. Sin embargo, el índice de geoacumulación ($I_{geo} = 3.2 \pm 0.4$), indica que la zona de estudio puede clasificarse como fuertemente contaminada con cadmio.

La concentración de Cd, Cu, Fe, Pb y Zn en la denominada fase potencialmente biodisponible de los sedimentos fue analizada y su relación porcentual con respecto a la concentración total del correspondiente metal se presenta en el anexo XVI, en tanto que de forma resumida, en la tabla 4.4, se muestran los promedios, desviación estándar, máximos y mínimos de cada metal. Asimismo, la correlación entre estas variables y los otros parámetros se presentan en la tabla 4.5.

La proporción de cadmio potencialmente biodisponible osciló entre 6.4 y 84.3 % de la concentración total, presentando un promedio de 40.5 ± 19.6 %. Las máximas proporciones (> 70 %) se presentaron en las estaciones OH12, OH14, OH19, OH21 y OH32 (Fig. 4.7b), todas ellas con menos del 40 % de sedimentos finos (a excepción de la estación OH19) y con más de 30 % de contenido de carbonatos ($r = 0.95$).

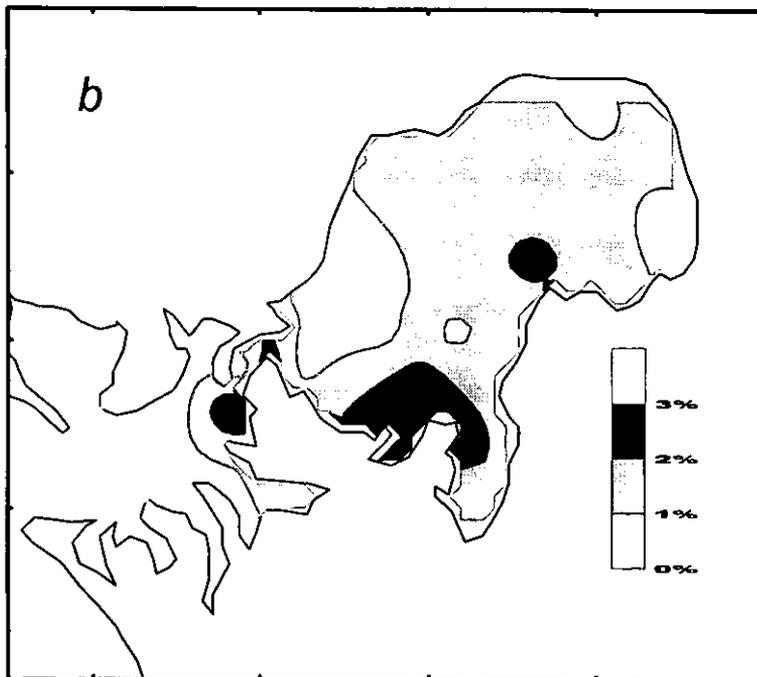
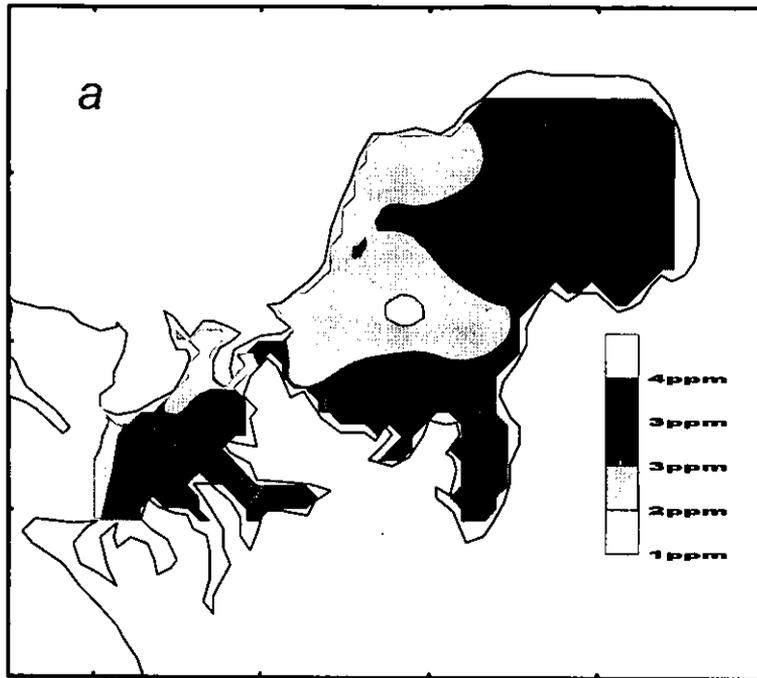


Fig. 4.7.-Distribució de a) concentració de cadmio, b) la proporció potencialment biodisponible de cadmio.

Por otro lado, la proporción biodisponible de este metal se correlacionó con aquellas correspondientes a Cu ($r= 0.38$), Fe ($r= 0.58$) y Pb ($r= 0.87$) biodisponibles, indicando que los procesos que intervienen en el fraccionamiento de estos elementos son los mismos o similares.

Tabla 4.4.- Promedio, desviación estándar, máximo y mínimo de las proporciones de la concentración potencialmente biodisponible, con respecto al contenido total de metales pesados, en sedimentos del sistema lagunar de Ohuira - Topolobampo.

	BioCd	BioCu	BioFe	BioPb	BioZn
Promedio	40.5	35.6	9.2	46.2	30.8
Desviación estándar	19.6	17.1	12.4	20.7	13.6
Máximo	84.3	100.0	76.3	89.3	57.2
Mínimo	6.4	14.4	1.1	7.5	12.5

Cobalto

El promedio del contenido de cobalto en los sedimentos es de 39.7 ± 10.0 ppm, con un intervalo que varía entre 15.9 y 53.7 ppm. Los mayores valores se localizan en las estaciones OH7 y OH24 (Fig. 4.8a), donde existen altos porcentajes de sedimento fino (>90%), presentándose un índice de correlación significativo entre estos dos parámetros ($r=0.38$, $p < 0.05$), tal como lo menciona, de manera general, Horowitz (1991).

Este metal se correlaciona con Al, Cr, Cu, Fe, Li, Ni y Zn, así como con la caolinita (Tabla 4.2), indicando una fuente de aporte común, así como el papel que juegan los minerales aluminosilicatados y los óxidos de hierro en los procesos geoquímicos que

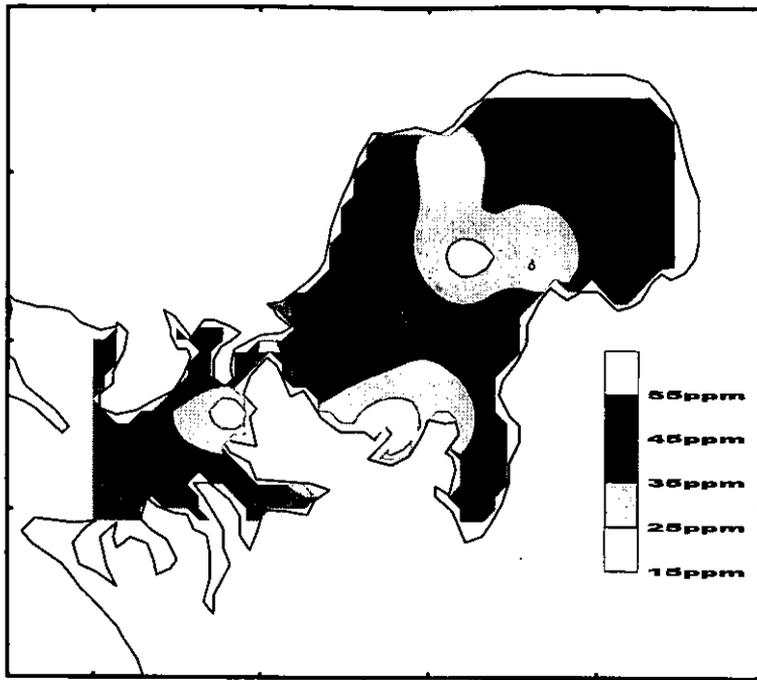


Fig. 4.8.-Distribuci3n de concentraci3n total de cobalto

gobiernan el comportamiento de cobalto. Por el contrario, este metal no se correlacionó con el contenido de carbono orgánico, en tanto que se correlacionó inversamente con los carbonatos, dado el efecto dilutor que estos últimos ejercen sobre dicho elemento.

Tabla 4.5.- Matriz de los coeficientes de correlación de las concentraciones potencialmente biodisponible de metales pesados y los parámetros determinados en sedimentos superficiales del sistema lagunar de Ohuira - Topolobampo. ($P < 0.01$).

	BioCd	BioCu	BioFe	BioPb	BioZn
Carbonatos	0.95		0.62	0.74	
C orgánico		0.89		0.42	0.69
Al	-0.66		-0.33	-0.40	0.50
Cd	0.59	0.45	0.41	0.59	
Cu		0.86		0.46	0.67
Fe	-0.55	0.32			0.57
Li	-0.39	0.61			0.76
Mn		0.79		0.32*	0.72
Pb	0.69	0.33*	0.38*	0.60	
Zn	-0.46	0.55			0.69
BioCd		0.38*	0.58	0.87	
BioCu				0.69	0.65
BioFe				0.51	
BioPb					0.40

* $P < 0.05$

Al observar la gráfica de la concentración de cobalto contra la de litio, siguiendo el criterio de Szefer *et al.* (1996), se presenta una anomalía en la estación OH34 (Fig. 4.9), cercana a un dren agrícola. Cabe mencionar que según Alloway (1990) la

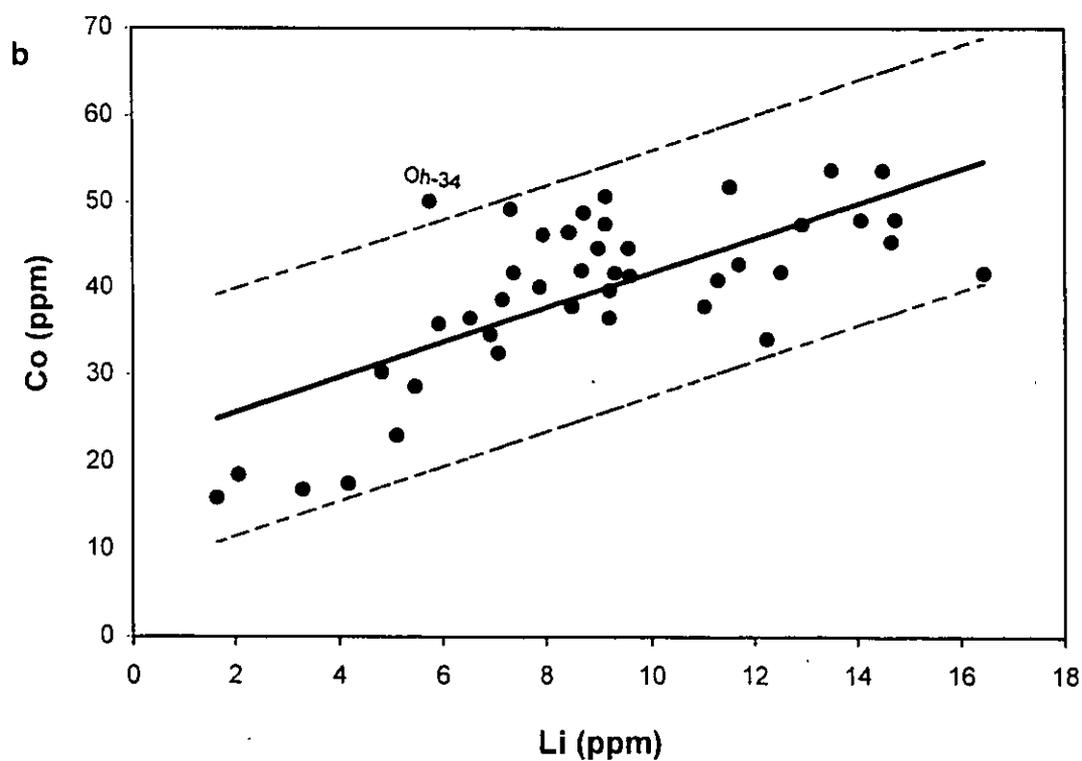
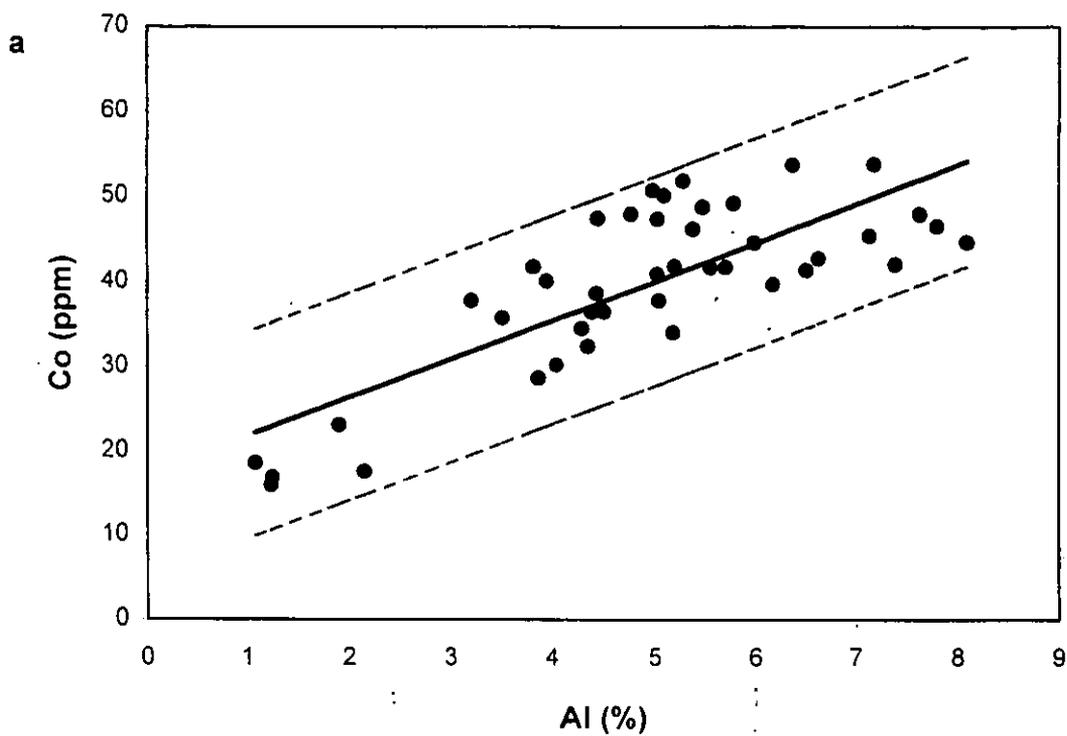


Fig. 4.9 Concentración de Co contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

concentración de este metal en fertilizantes fosfatados puede variar entre 1 y 12 ppm, que si bien es menor a la encontrada en los sedimentos del sistema lagunar, ésta última se puede incrementar como resultado de un aporte continuo de dicho material.

Cromo

La concentración promedio de cromo en los sedimentos del sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo es de 29.9 ± 11.9 ppm, con un valor máximo de 56.46 ppm y un mínimo de 6.15 ppm. Los más altos contenidos se presentaron en la cabeza lagunar (estaciones OH3, OH5, OH11), asociados con altas concentraciones de carbono orgánico ($r=0.42$). Sobresalen las estaciones OH24 y OH31 (Fig. 4.10a) con valores más grandes que la zona circundante, asociados a sedimentos finos ($r=0.49$).

Este metal también se correlaciona con el porcentaje de sedimentos finos, el contenido de carbono orgánico y de los otros elementos estudiados, excepto con cadmio y plomo. Lo anterior permitió calcular los factores de enriquecimiento de cromo, cuyo promedio es 1.0 ± 0.3 , presentando los mayores FE_{Li} en la Bahía de Topolobampo (Fig. 4.10b), donde el aporte de este metal proveniente de los campos agrícolas es mayor. Esta asociación entre la actividad agrícola y el cromo ha sido observada por diversos autores (Aboul-Dahab, 1989; Green-Ruiz, 1996). Alloway (1990) observó valores entre 66 y 245 ppm de Cr en fertilizantes fosfatados. El índice de geoacumulación de cromo sugiere que el sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo no está contaminado con este metal.

En la figura 4.11 se muestra un valor anómalo, correspondiente a la estación OH40, con mayor concentración de cromo que la esperada de acuerdo a su contenido de litio. Lo anterior puede ser el resultado de un asentamiento gradual del Cr proveniente del dren que desemboca cerca de la estación OH34 y que es transportado por las corrientes, las cuales siguen el patrón definido por Anónimo (1990b).

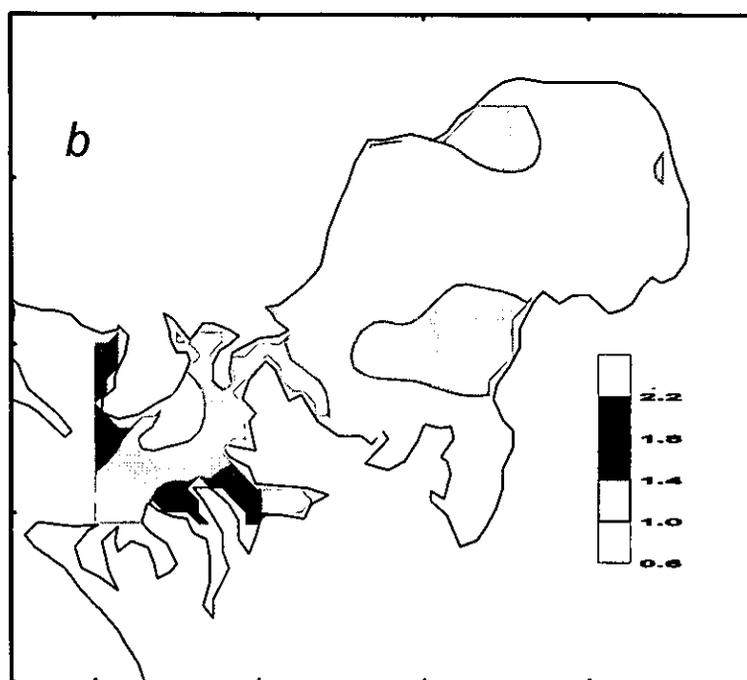
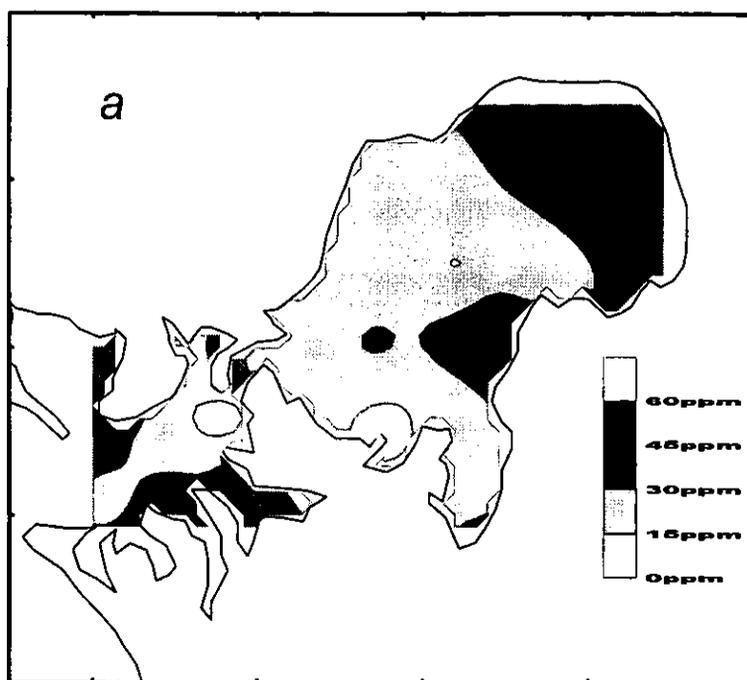


Fig. 4.10.-Distribuci3n de a) concentraci3n total y b) factores de enriquecimiento de cromo.

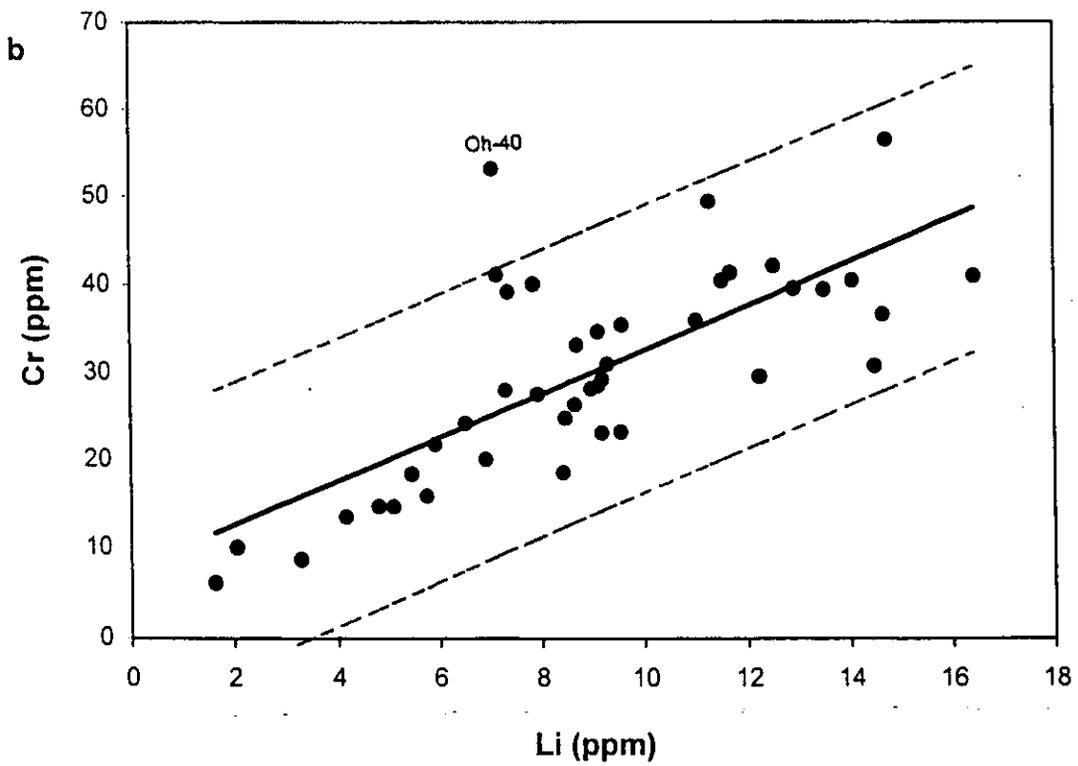
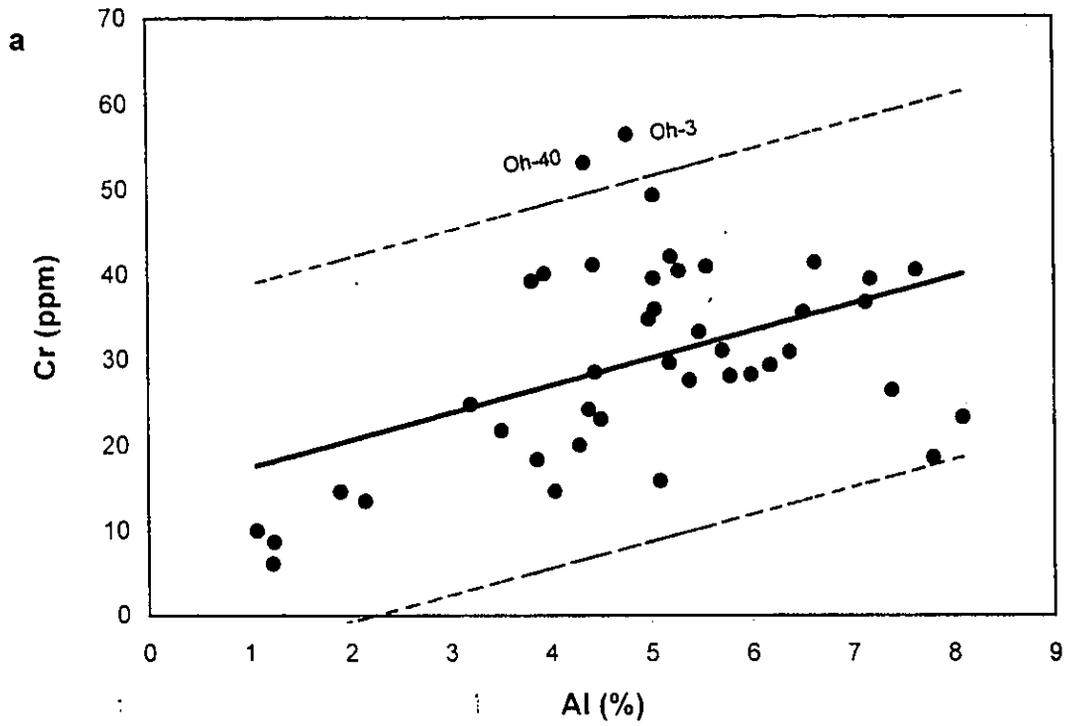


Fig.4.11 Concentración de Cr contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

Cobre

El promedio de las concentraciones de cobre en los sedimentos es de 8.5 ± 3.8 ppm, con un intervalo que oscila entre 3.6 y 16.1 ppm. La distribución de cobre se muestra en la figura 4.12a, en la cual se observa que las mayores concentraciones se localizan hacia la cabeza lagunar de la Bahía de Ohuira (estaciones OH2, OH3, OH5, OH8) y en la estación OH24; todas ellas relacionadas con sedimento que posee los máximos valores de fracción fina ($r=0.90$) y materia orgánica ($r= 0.83$), además de estar asociados a drenes agrícolas.

El uso de algunos fungicidas que contienen cobre ha sido mencionado por International Atomic Energy Agency (1990) y Páez-Osuna *et al* (1993), para el valle agrícola Culiacán - Navolato, y es de esperarse que sea también utilizado en el valle agrícola del Fuerte. Alloway (1990) menciona que en los fertilizantes fosfatados se pueden encontrar valores de cobre entre 1 y 300 ppm.

Este metal presentó los mayores coeficientes de correlación respecto al carbono orgánico y el contenido sedimento fino, así como con la caolinita, manifestando la capacidad de estos por atraer los iones cúpricos. Además se correlacionó con la mayoría de los otros metales estudiados, a excepción de Al, Cd y Pb.

De acuerdo al procedimiento de normalización sugerido por Szefer *et al* (1996), no existe ningún valor que pudiera indicar una entrada antropogénica significativa (Fig. 4.13a), lo que se refuerza con el factor de enriquecimiento calculado tomando al litio como elemento conservativo, el cual fue menor a la unidad. ($EF_{Li} = 0.6 \pm 0.3$) (Fig. 4.12b). Asimismo, se considera que el sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo no está contaminado con cobre, de acuerdo a los valores obtenidos para el índice de geoacumulación (Müller, 1979).

El porcentaje de cobre biodisponible con respecto a su concentración total presentó un promedio de 35.6 ± 17.1 %, con valores que oscilaron desde 14.4 hasta 100.0 %. Los

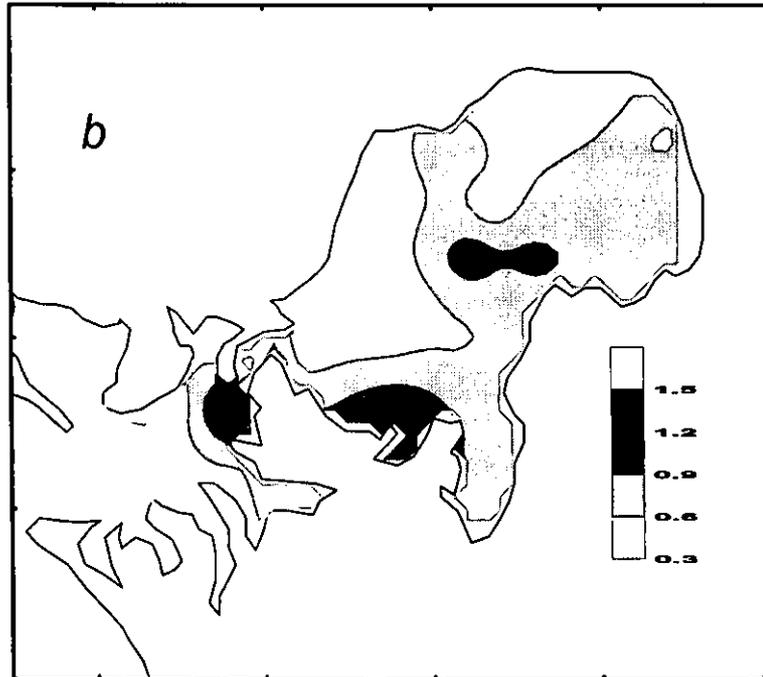
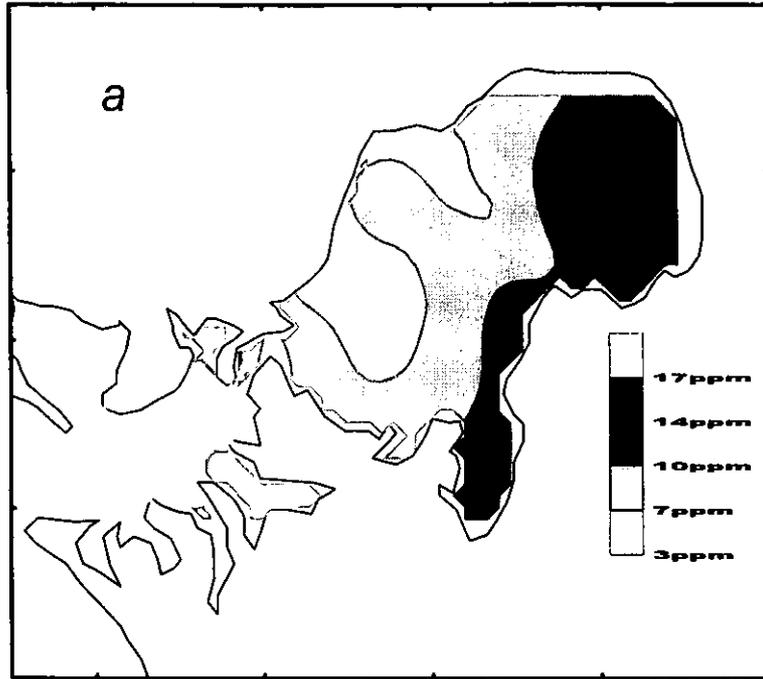


Fig. 4.12.-Distribución de a) concentración total y b) factores de enriquecimiento de cobre.

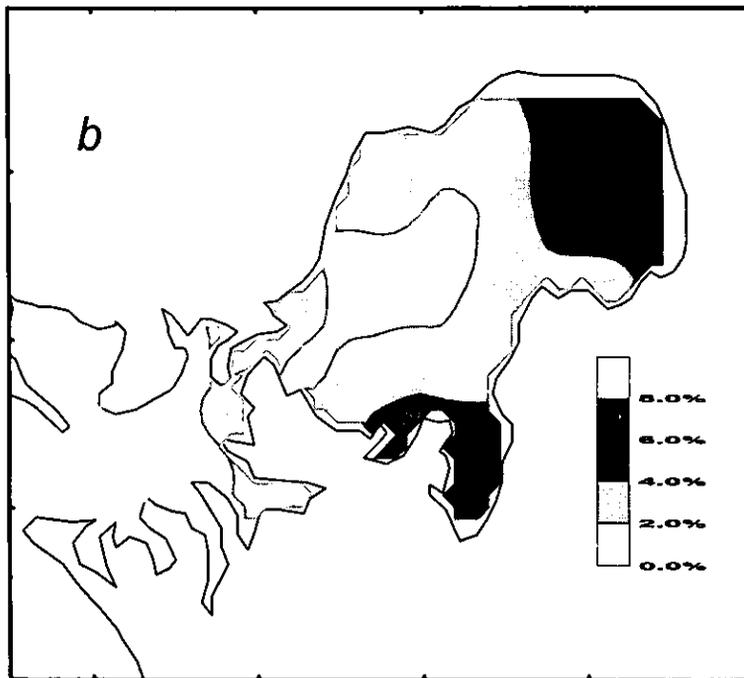
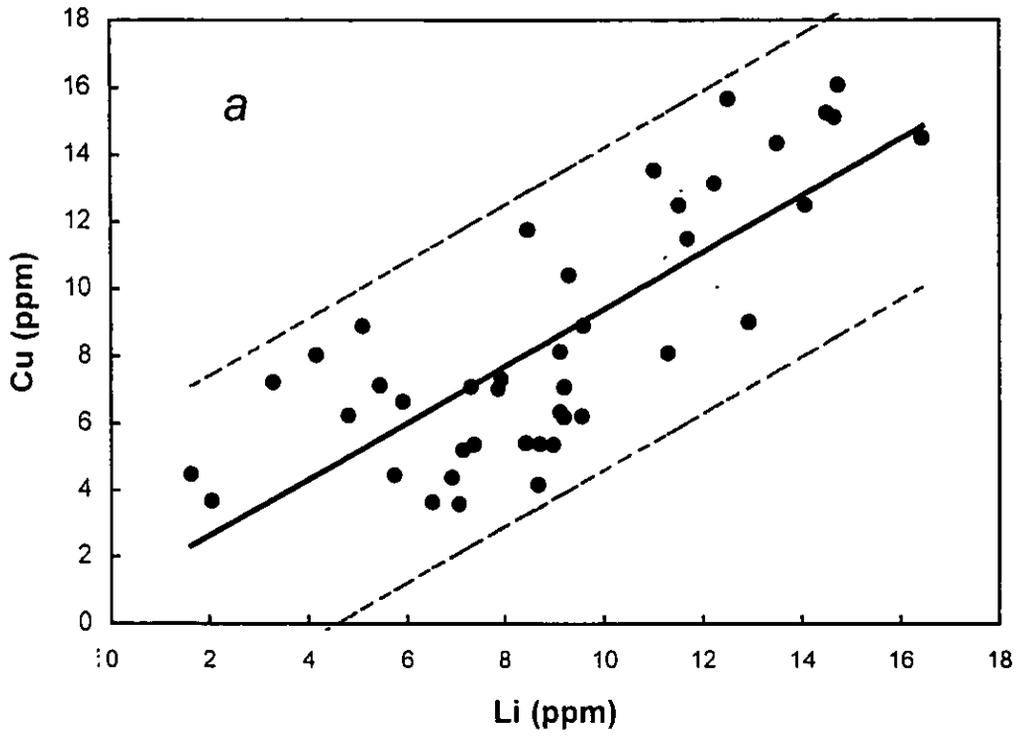


Fig. 4.13.-concentración de cobre contra a) aluminio b) distribución de la proporción de cobre biodisponible.

porcentajes más altos se ubicaron en la estación OH28 (100 %), OH32 (79 %), OH4 y OH26 (ambas con 60 %) (Fig. 4.13b). A excepción de la estación OH4, cerca del dren 1° de mayo, todas las otras con menos del 40 % de sedimento fino y más del 75 % de carbonatos, aún cuando no se correlacionó con este último parámetro. La proporción de Cu biodisponible se correlacionó significativamente con el contenido de carbono orgánico en los sedimentos ($r= 0.89$), sugiriendo que el material orgánico interviene de manera importante en el fraccionamiento geoquímico del cobre biodisponible.

Hierro

El contenido de hierro en los sedimentos superficiales oscila entre 0.1 y 3.0%, con un promedio de $1.9 \pm 0.7\%$. Nuevamente, los valores más altos se presentan en la cabeza lagunar (Fig. 4.14a), asociados a sedimentos finos ($r=0.55$) y a los drenes provenientes de los campos agrícolas y del poblado Juan José Ríos, (estaciones OH1, OH5, OH7, OH8).

La correlación significativa entre Fe y Al, Co, Cr, Cu, Li, Mn, Ni y Zn, es el reflejo de la importancia de los óxidos de hierro en el comportamiento geoquímico de los otros metales. Por otra parte, es el único elemento que se correlacionó significativamente ($r= 0.41$) con la montmorillonita, indicando la preferencia de este mineral de asociarse con el hierro.

La figura 4.15 muestra la gráfica de hierro contra a) aluminio y b) litio, observándose dos anomalías (estación OH38 y OH41), que están relacionadas al canal de navegación y por ende al aporte de este metal por la actividad naviera.

Utilizando litio como elemento de referencia, sólo cinco estaciones (OH36, OH37, OH38, OH41 y OH42) presentaron factores de enriquecimiento mayores que 2 (Fig. 4.14b), todas ellas ubicadas en el canal de navegación y hacia la boca del sistema lagunar. El promedio del FE_{Li} es de 1.4 ± 0.4 . Por otro lado, de acuerdo con el índice de

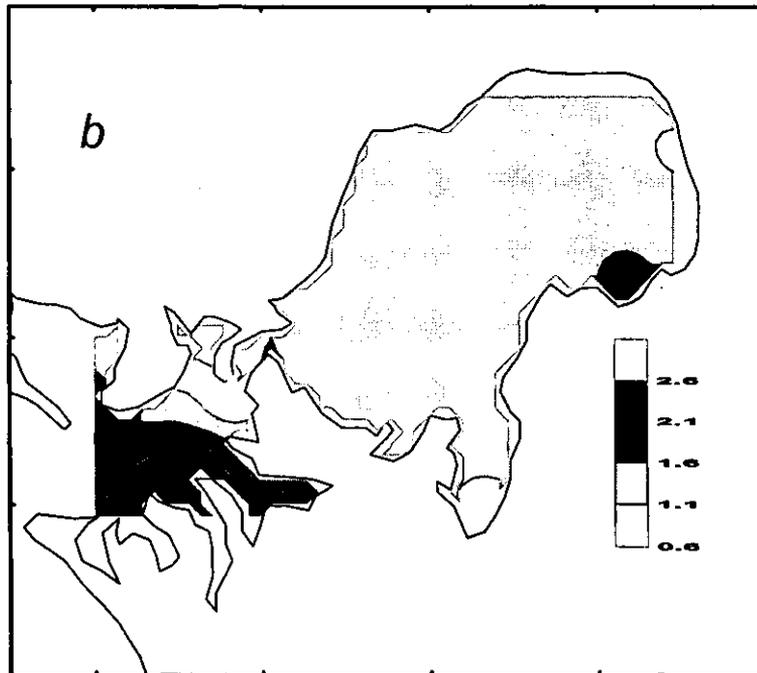
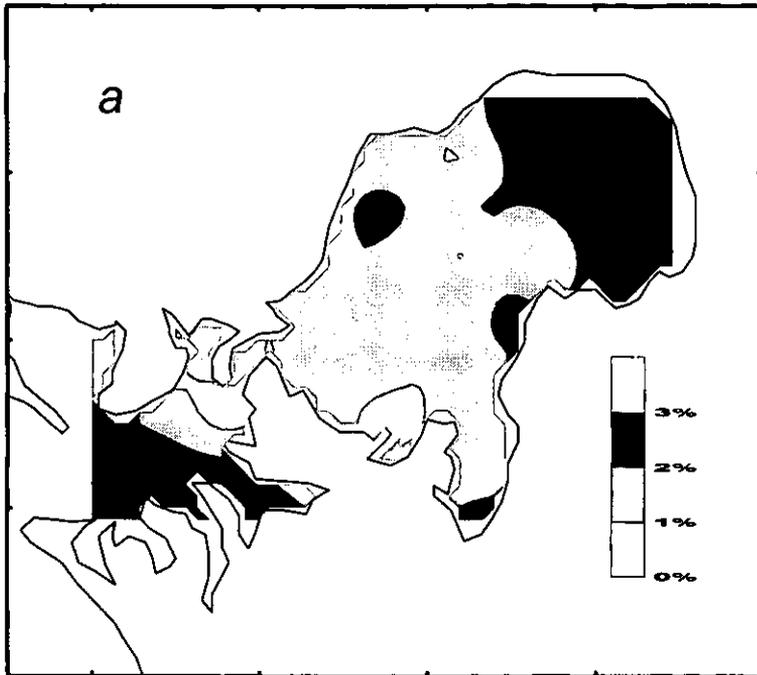


Fig. 4.14.-Distribución de a) concentración total y b) factores de enriquecimiento de hierro.

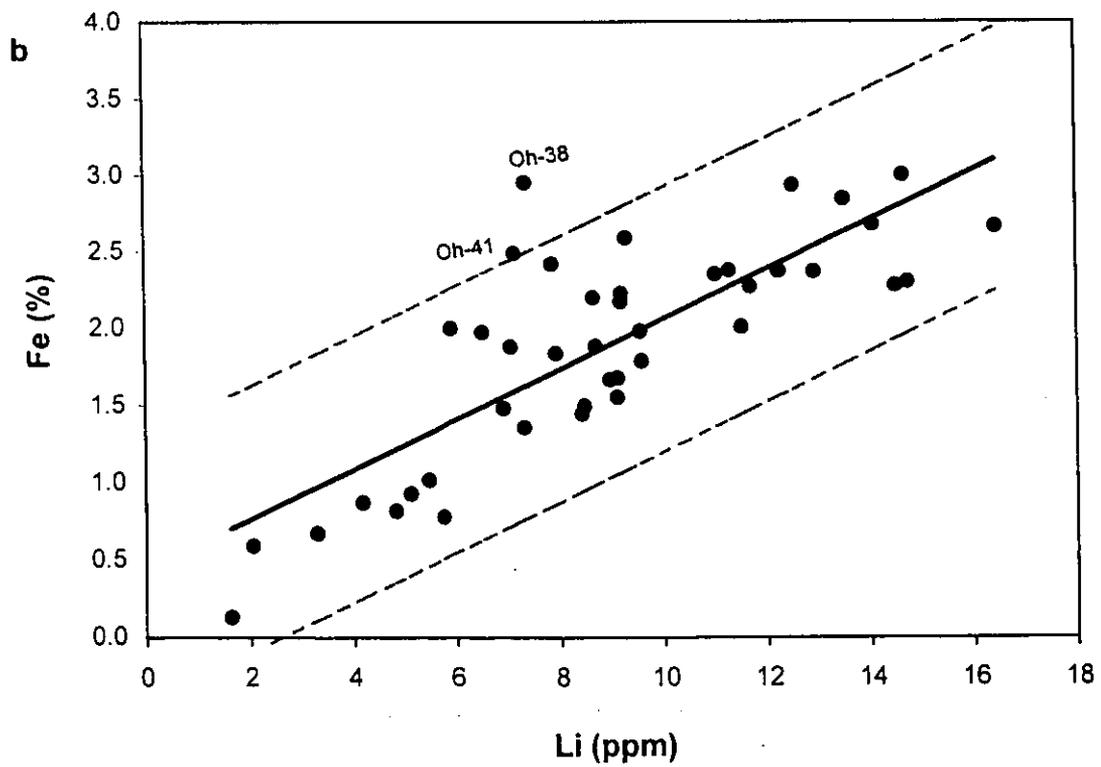
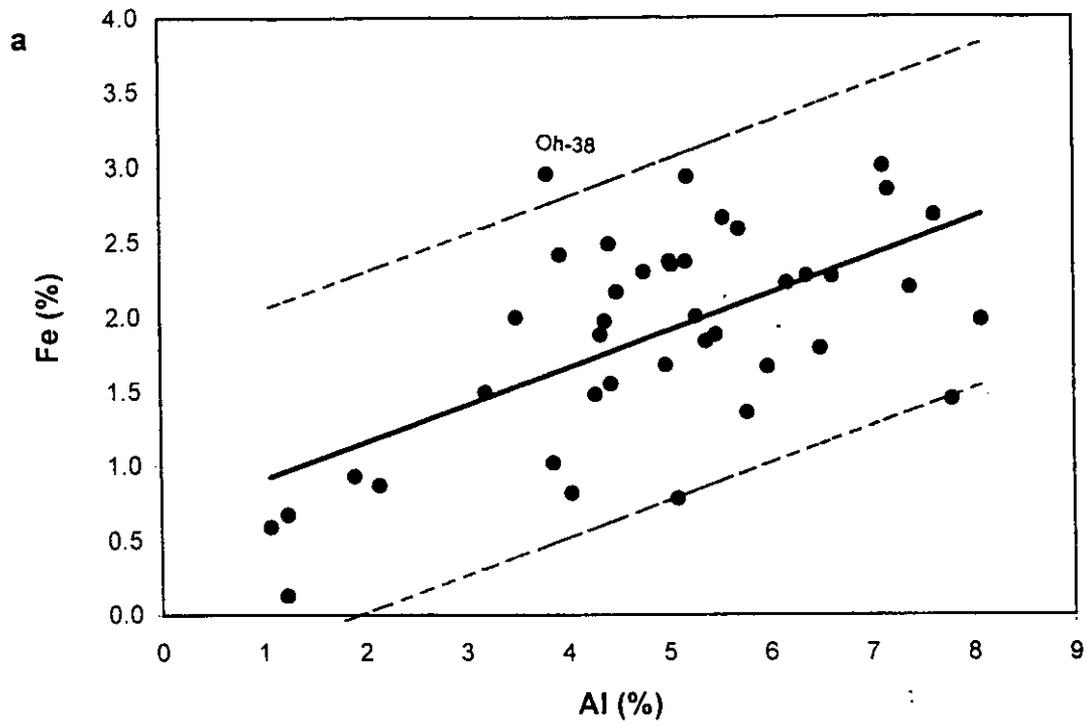


Fig. 4.15 Concentración de Fe contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

geoacumulación (Müller, 1979) esta zona de estudio no se puede considerar contaminada con hierro.

La proporción biodisponible de hierro en los sedimentos de esta zona de estudio osciló entre 1.1 y 76.3 %, con un promedio de 9.2 ± 12.4 %. Las mayores proporciones se ubicaron en las estaciones OH14, OH26, OH28, con valores mayores al 20 %, y en la estación OH32 con 76.3 % (Fig. 4.16). Todas ellas con menos del 40 % de sedimentos fino y más del 75 % de carbonatos ($r= 0.62$). Asimismo, existe también una buena correlación entre las proporciones biodisponibles de este metal y el contenido de Pb ($r= 0.51$).

Litio

La concentración de litio en los sedimentos superficiales del sistema lagunar Bahías de Ohuira y Topolobampo varía entre 1.6 y 16.4 ppm, con un promedio de 8.9 ± 3.5 ppm. Los valores más altos se presentaron en la cabeza de la Bahía de Ohuira (Fig 4.17). Su distribución esta influenciada, en gran medida, por el contenido de sedimento fino ($r= 0.81$) y de carbono orgánico ($r= 0.75$).

Este metal se correlacionó, de manera significativa, con los otros elementos estudiados, principalmente con Al ($r=0.70$), Fe ($r=0.80$) y Mn ($r=0.77$), los cuales representan la proporción litogénica de este metal, así como con los contenidos de carbono orgánico y sedimentos finos. Por lo anterior, se considera que el litio es un buen elemento para efectuar la normalización de los datos de los otros metales y calcular los factores de enriquecimiento, como lo proponen diversos autores (Loring, 1990; Green-Ruiz, 1996). Además, existió también una buena correlación entre Li y caolinita, evidenciando el papel importante que juega este mineral en la captación directa o indirecta (Horowitz, 1991) de los iones de litio. Loring (1990) menciona que el litio está poco influenciado por los aportes antropogénicos y puede estar asociado a la composición química de algunos minerales arcillosos.

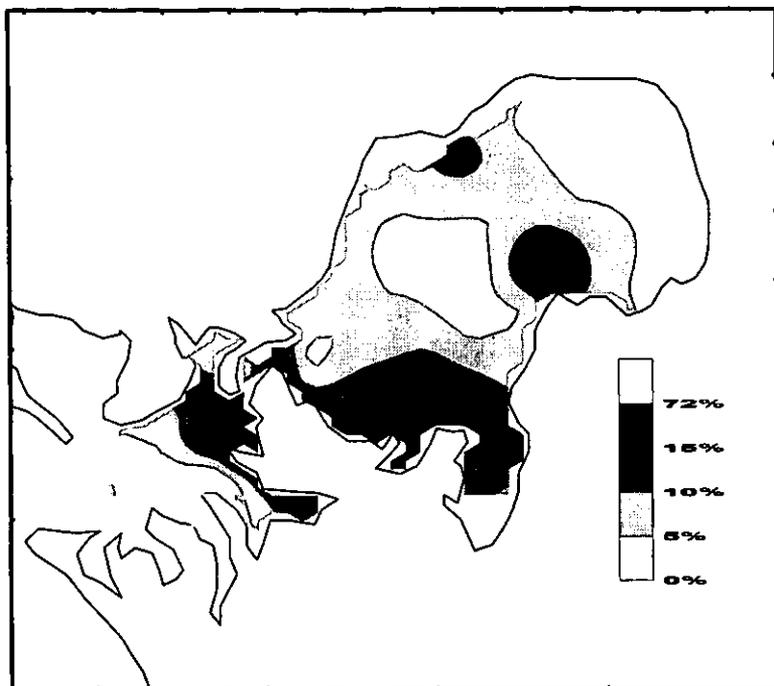


Fig. 4.16.-Distribución de la proporción de hierro biodisponible.

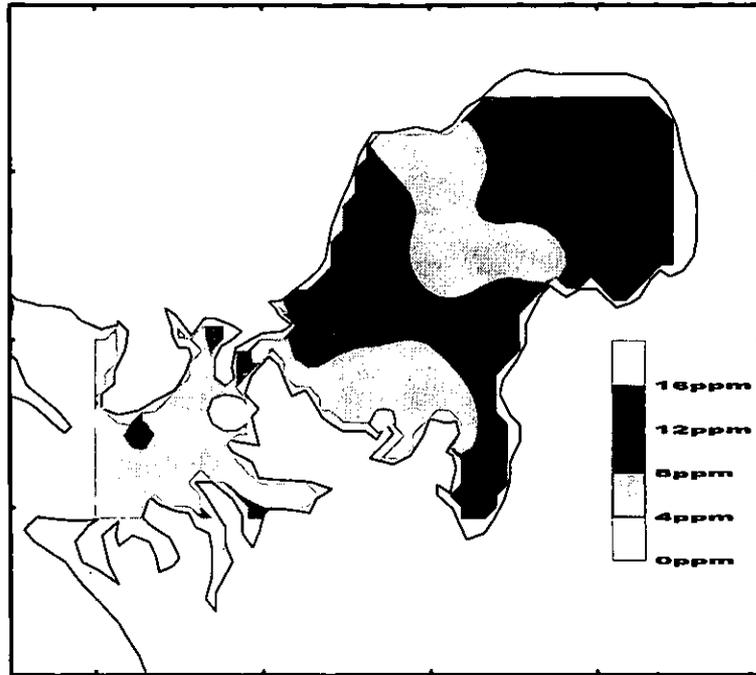


Fig. 4.17.-Distribució de la concentració total de litio.

Manganeso

El promedio de la concentración de manganeso en los sedimentos es de 505 ± 267 ppm, variando desde 199 hasta 1190 ppm. Los mayores contenidos de este metal se presentan en la cabeza de la Bahía de Ohuira (estaciones OH1, OH2, OH3, OH5, OH8) como reflejo del aporte desde el dren agrícola 1° de mayo proveniente del poblado Juan José Ríos (Fig. 4.18a).

Alloway (1990) encontró que las concentraciones de Mn en fertilizantes fosfatados oscilan entre 40 y 2000 ppm. Algunos autores han señalado el empleo de un fungicida enriquecido en manganeso llamado Maneb, en el valle de Culiacán – Navolato (International Atomic Energy Agency, 1990; Páez-Osuna *et al.* 1993), el cual, probablemente también se utilice en el valle agrícola del Fuerte que drena hacia la zona de estudio.

Este metal es el que mejor correlación posee con el contenido de carbonato orgánico ($r=0.84$), manifestando la capacidad del material orgánico para retener el manganeso. Asimismo, al parecer la presencia de óxidos de manganeso gobierna algunos procesos de ad/desadsorción de Cr ($r= 0.57$), Cu ($r= 0.77$), Fe ($r= 0.65$), Li ($r= 0.77$), Ni ($r=0.75$) y Zn ($r=0.75$), de forma directa o indirecta, a través de su asociación con el mineral arcilloso caolinita ($r= 0.35$).

La figura 4.18b muestra la distribución de los factores de enriquecimiento empleando litio como elemento conservativo, observándose que los mayores valores se ubican en las estaciones OH28 (7.1) y OH32 (3.7), en el canal de San Carlos (estrecho que conecta las Bahías de Ohuira y Topolobampo), en donde existen altos contenidos de carbonatos, el cual enmascara las concentraciones de litio. De lo anterior se puede decir, que al menos en este pequeño estrecho hay exceso de manganeso que no está ligado a las partículas terrígenas.

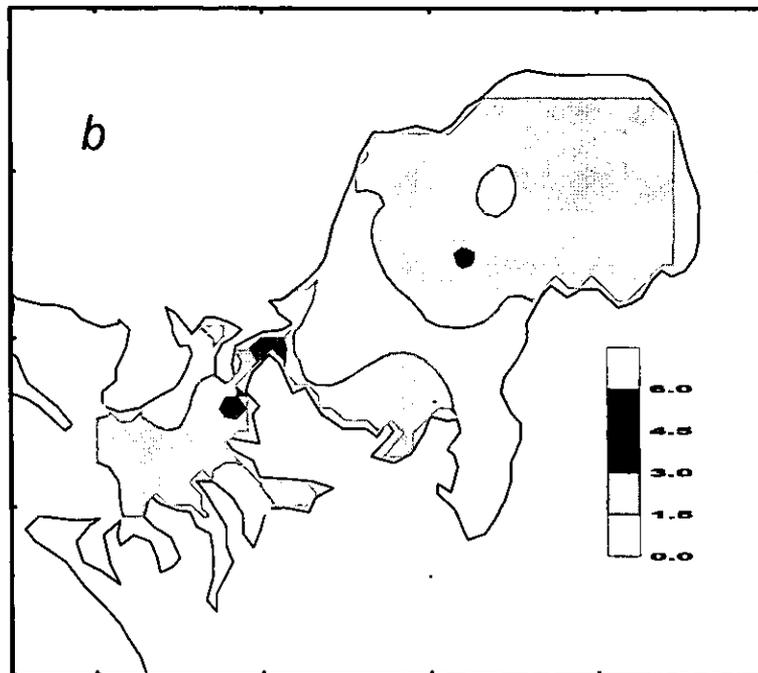
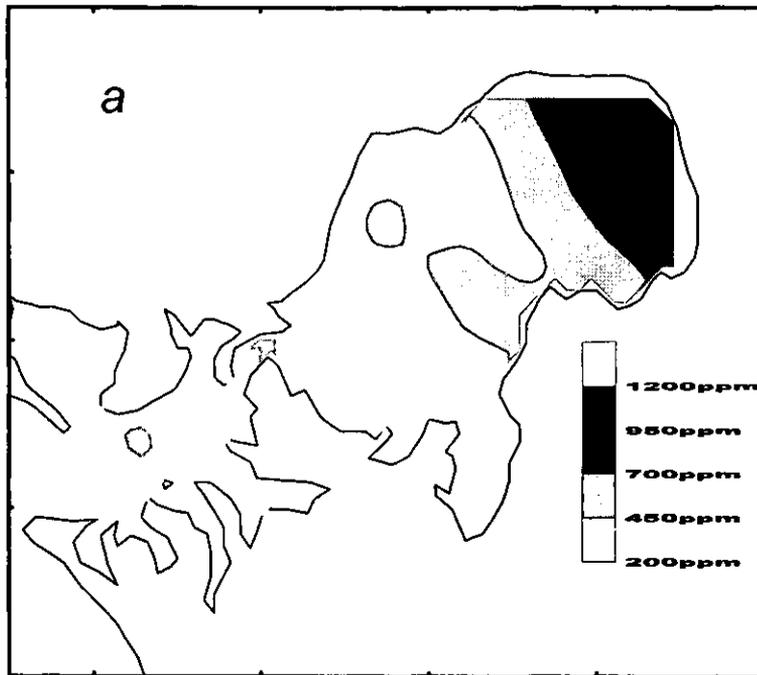


Fig. 4.18.-Distribució de a) concentració total y b) factors de enriquecimiento de manganeso.

Siguiendo el criterio de normalización propuesto por Szefer *et al* (1996), se detectaron valores anómalos de la concentración de manganeso respecto a su contenido de litio y aluminio (Fig. 4.19). Estas anomalías se localizaron en las estaciones OH3, OH5 y OH28, las cuales se encuentran en las desembocaduras de drenes agrícolas. Sin embargo, y de manera general, se puede decir que el sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo no están contaminadas con este metal de acuerdo con la clasificación basada en el índice de geoacumulación propuesto por Müller (1979).

Níquel

El intervalo de contenido de níquel en los sedimentos superficiales oscila entre 24.1 y 54.8 ppm con un promedio de 35.6 ± 8.0 . Su distribución espacial se presenta en la figura 4.20a, observándose las máximas concentraciones en la cabeza de la Bahía de Ohuira (estaciones OH3, OH5, OH6, OH7, OH8) y en la estación OH24. Todos estos sitios contienen más del 90% de sedimentos finos ($r=0.82$), además de estar cerca de las desembocaduras de drenes agrícolas. Según Alloway (1990), los fertilizantes fosfatados contienen entre 7 y 38 ppm de níquel.

La buena correlación entre la concentración de níquel y el porcentaje de carbono orgánico ($r=0.77$) y de caolinita indica que estos últimos intervienen en los procesos geoquímicos de dicho metal. Además, el comportamiento de este metal en el material sedimentario es similar al del Cu ($r= 0.82$), Fe ($r= 0.69$), Li ($r= 0.85$), Mn ($r= 0.75$) y Zn ($r= 0.84$), con los cuales se correlacionó significativamente.

Existe una mayor correlación entre este metal y Li ($r=0.85$) que con Al ($r=0.41$), sin embargo, la figura 4.21 presenta la normalización, de acuerdo al criterio propuesto por Szefer *et al* (1996), empleando ambos elementos como conservativos. Se observa que existen dos anomalías con respecto al aluminio, correspondientes a las estaciones OH3 y OH8, en la cabeza del cuerpo lagunar, en la margen este de la Bahía de Ohuira, asociadas a la descarga del dren agrícola 1º de mayo.

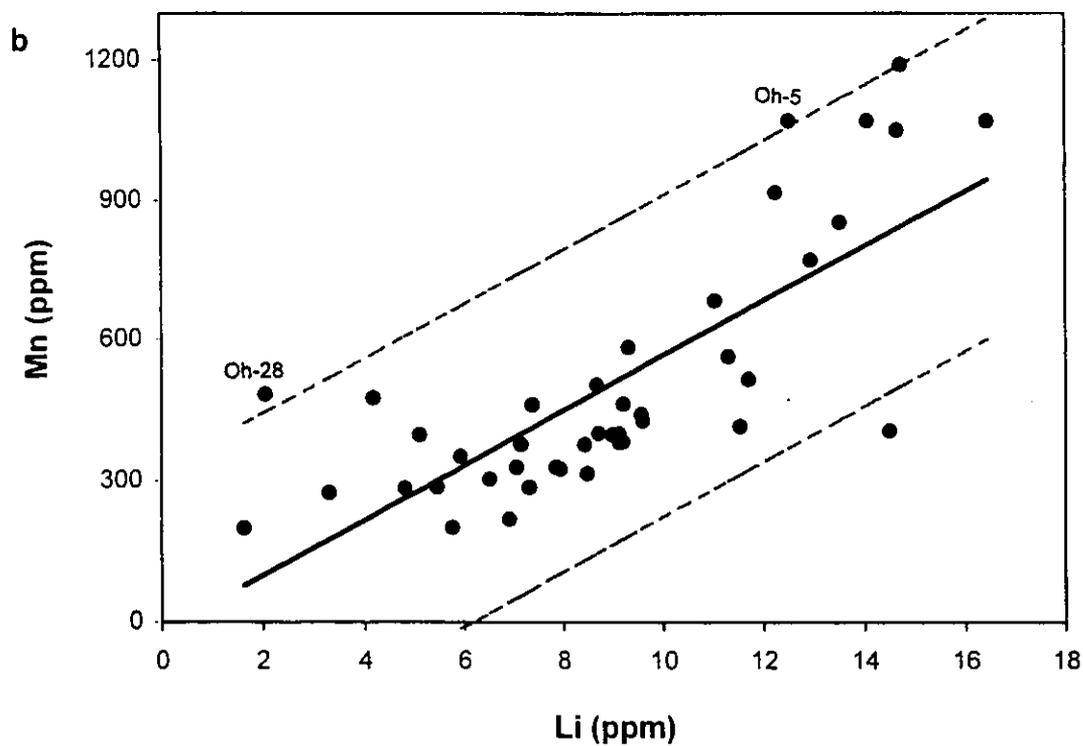
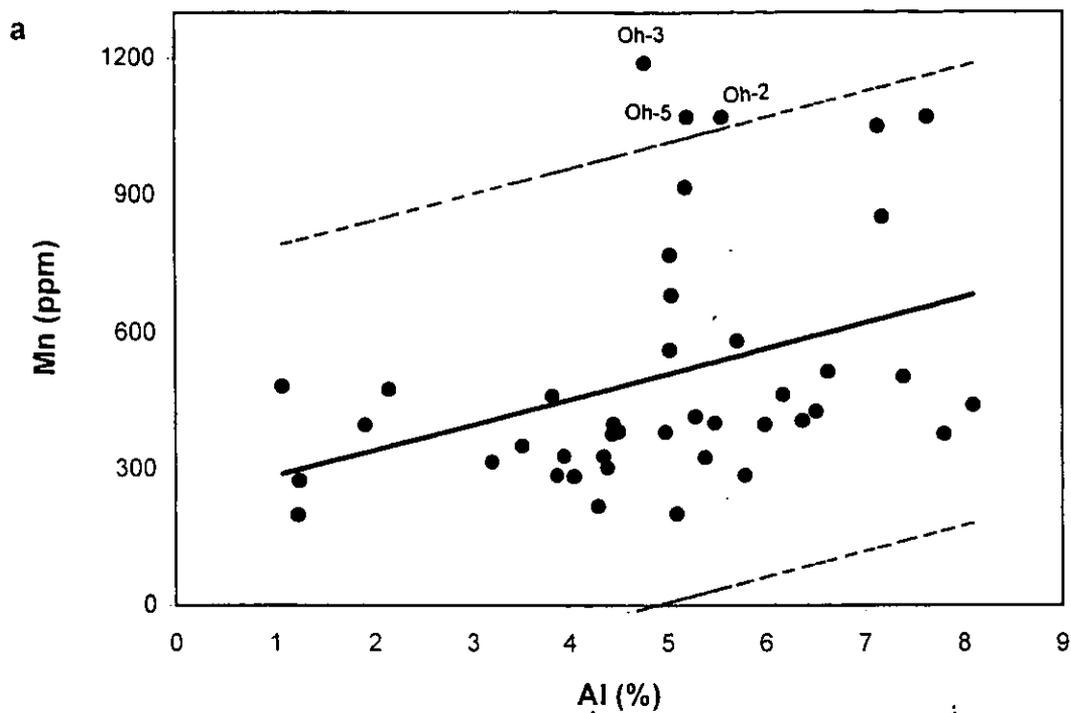


Fig. 4.19 Concentración de Mn contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

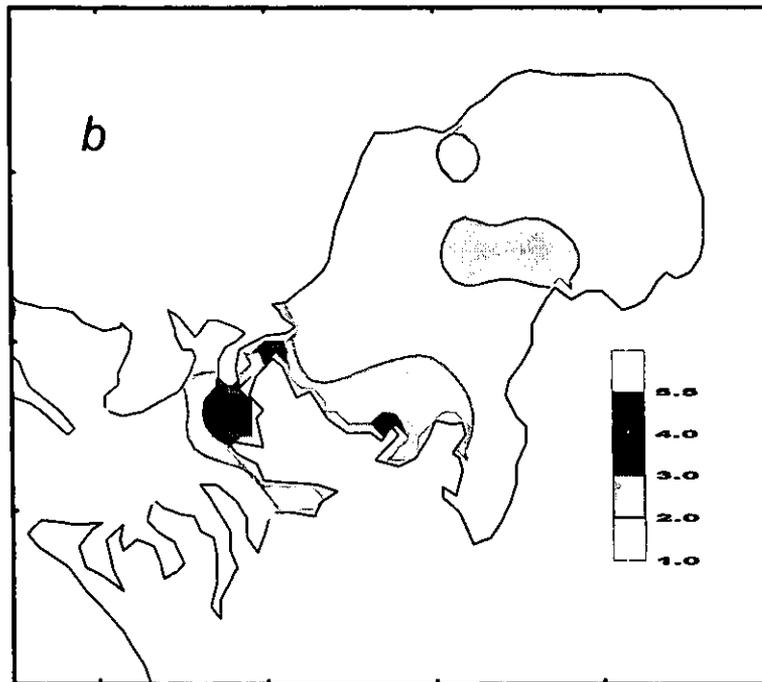
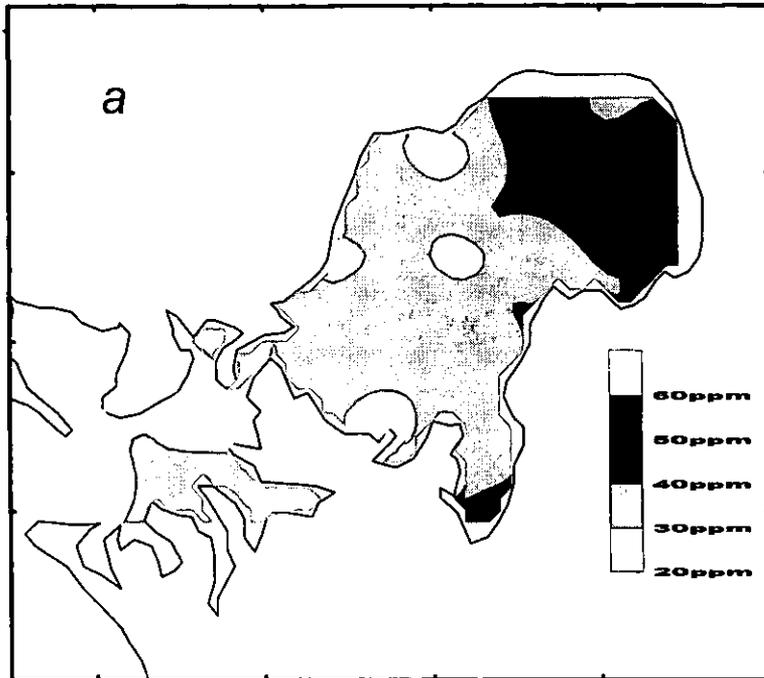


Fig. 4.20.-Distribuci3n de a) concentraci3n total y b) factores de enriquecimiento de niquel.

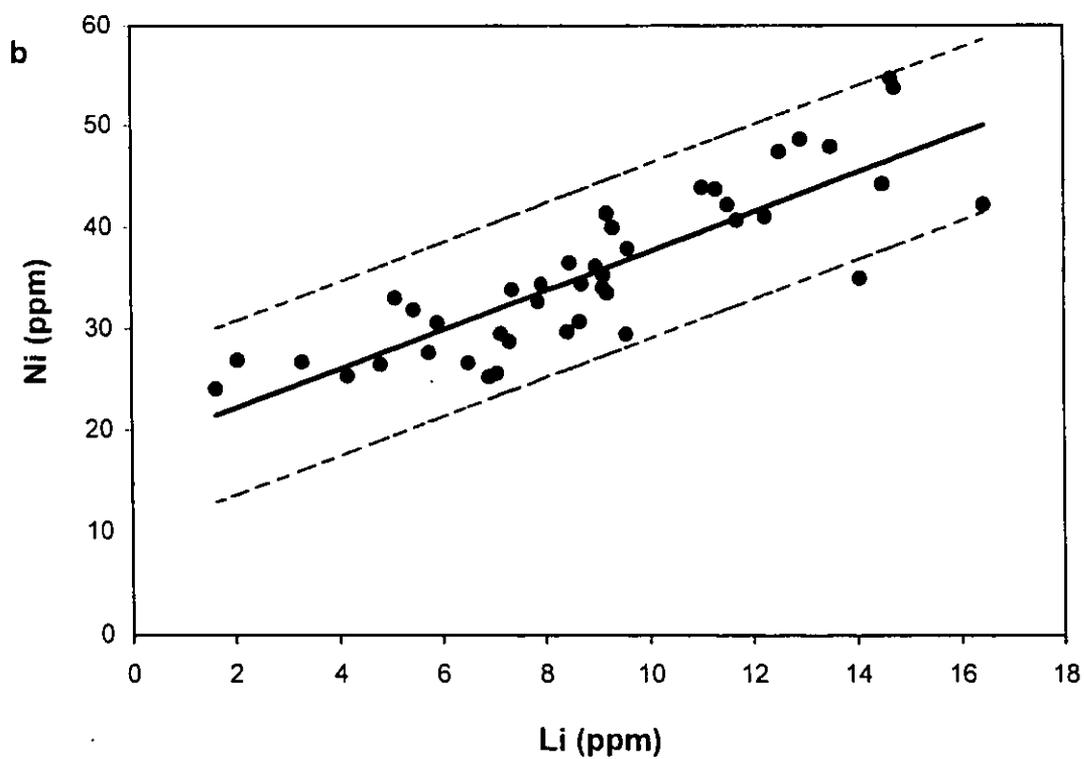
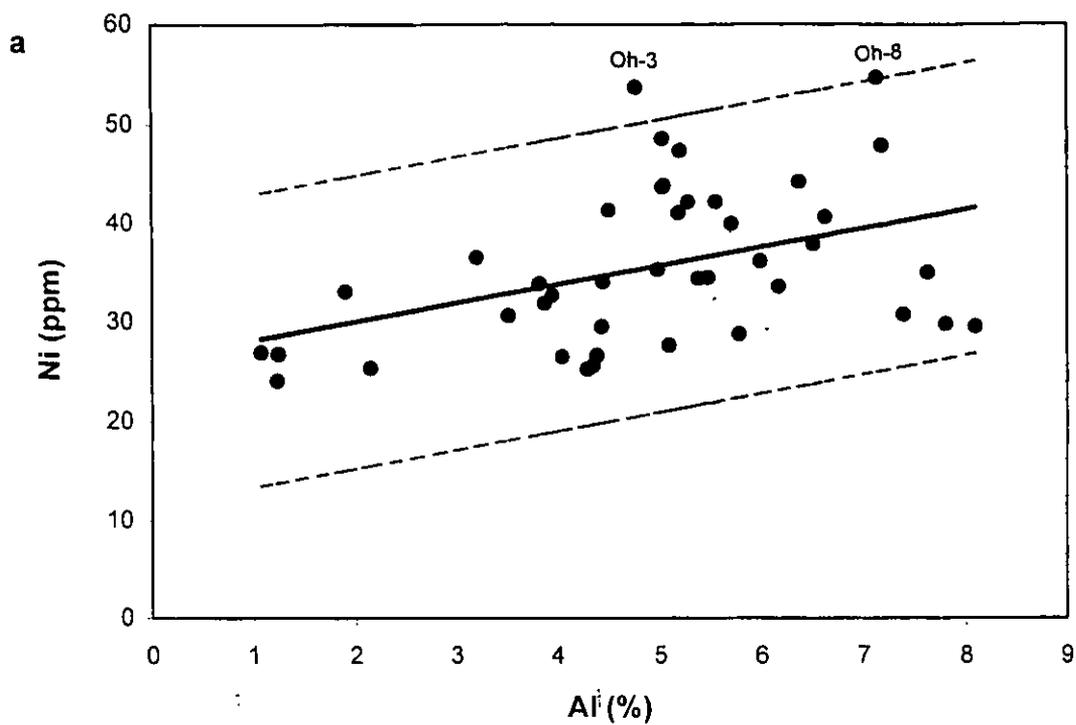


Fig. 4.21 Concentración de Ni contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

El FE_{Li} promedio es de 1.8 ± 0.9 , presentándose enriquecimientos mayores a un factor de 5 en las estaciones OH28 y OH32 (Fig. 4.20b), con altos contenidos de carbonatos, y en el caso de la estación OH28, ubicada en la desembocadura del dren Los Mochis. Sin embargo, de acuerdo con el índice de geoacumulación (Müller, 1979) este cuerpo de agua se clasifica como no contaminado con níquel.

Plomo

Los máximos valores de plomo registrados en los sedimentos se localizaron en las estaciones OH32 (78.0 ppm) y OH28 (72.3 ppm) con las mayores concentraciones de carbonato (Fig. 4.22a). El promedio del contenido de este metal es de 53.1 ± 11.2 ppm, presentando un intervalo de 22.0 a 78.0 ppm.

El comportamiento de plomo en los sedimentos superficiales es totalmente distinto al resto de los metales, con los cuales no se correlacionó, o lo hizo en forma inversa, como es el caso del Al (-0.58) y Co (-0.49), como resultado de las correlaciones inversas de estos dos elementos con el carbonato, dado su efecto dilutor y con el cual el plomo se correlacionó significativamente ($r=0.65$), indicando una posible sustitución de plomo por calcio para formar la cerusita (CO_3Pb), así como alguna fuente de aporte de este metal (probablemente atmosférica), adicional a la de aquellos metales.

Péna y Picot (1991) encontraron en la laguna mediterránea l'Etang de Thau, una asociación entre el nivel de plomo y el aporte de material agrícola. Por su parte, Alloway (1990) observó valores entre 7 y 225 ppm de plomo en fertilizantes fosfatados.

El promedio de la proporción biodisponible de plomo con respecto a su correspondiente contenido total fue de 46.2 ± 20.7 %, con un intervalo que fluctúa entre 7.5 y 89.3 %. Las proporciones más altas más altas se presentaron en las estaciones OH3, OH4, OH14 y OH26 (Fig. 4.22b). Contrariamente a los dos últimas, las dos primeras tienen bajo contenido de carbonatos y alto porcentaje de sedimento fino (99.0 y 61.8 %,

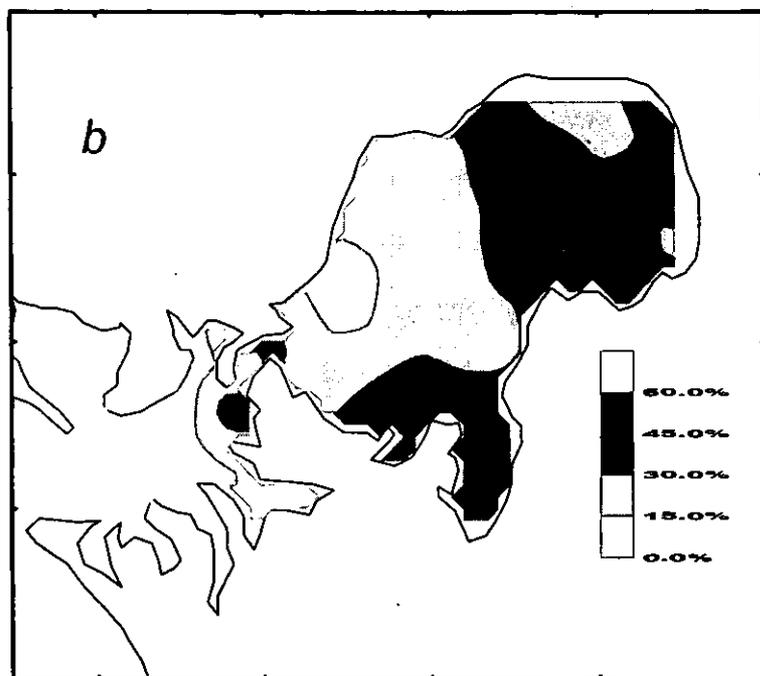
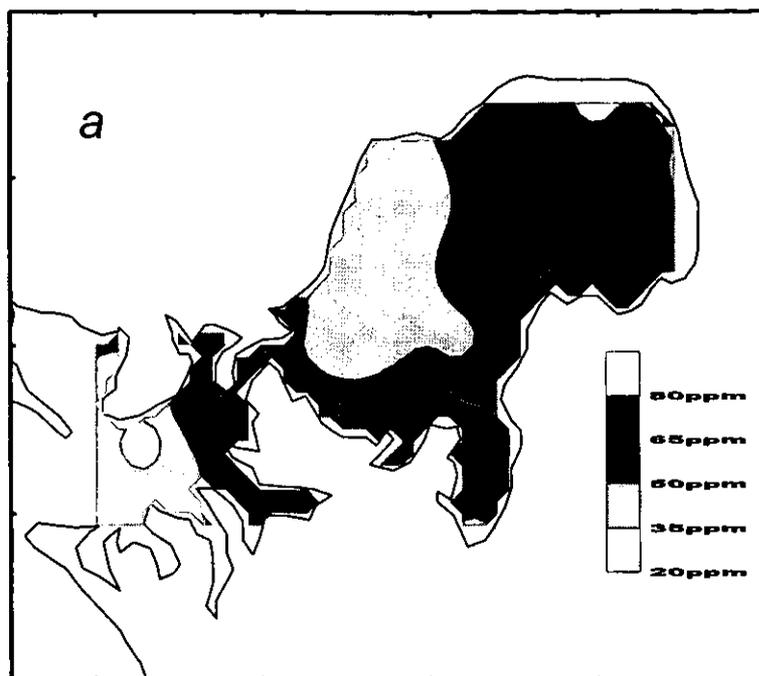


Fig. 4.22.-distribución de a) la concentración de plomo y b) la proporción de plomo biodisponible.

respectivamente; sin embargo, se localizan en la desembocadura del dren 1° de mayo, una de las principales fuentes de aporte de metales.

En menor grado que la proporción biodisponible de cobre, el porcentaje de Pb en los sedimentos que está potencialmente disponible para la biota, también se correlacionó con el carbono orgánico, como resultado del papel que este material juega en su comportamiento geoquímico, al menos referente a su fraccionamiento.

Zinc

Los contenidos de zinc en los sedimentos del sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo oscilaron entre 17.4 y 102.5 ppm, presentando un promedio de 61.6 ± 20.8 ppm. Las mayores concentraciones se ubicaron en la cabeza de la Bahía de Ohuira (estaciones OH2, OH3, OH5, OH8) asociadas con sedimento fino ($r=0.74$) y altas concentraciones de carbono orgánico ($r=0.68$), así como al dren agrícola 1° de mayo. Según Alloway (1990), los fertilizantes fosfatados poseen concentraciones de zinc entre 50 y 1450 ppm. Sobresalen las estaciones OH31 y OH24 con altos contenidos de este metal con respecto a la zona circundante (Fig. 4.23a), como resultado de un aumento en su porcentaje de carbono orgánico y sedimento fino.

Con excepción de Cd y Pb, el Zn se correlacionó significativamente con los otros metales ($r>0.68$), resaltando su correlación con litio ($r=0.95$) y en menor grado con aluminio ($r=0.68$). Siguiendo el criterio de Szefer *et al.* (1996), se detectaron valores anómalos con respecto a su concentración de litio en las estaciones OH31 y OH42 (Fig. 4.24).

El zinc presenta factores de enriquecimiento superiores a la unidad ($EF_{Li} = 2.7 \pm 0.4$), con valores máximos en las estaciones OH32 (4.0) y OH28 (3.4) (Fig. 4.23b), como resultado de las bajas concentraciones de litio en esta zona y el aporte de zinc que no tiene el mismo origen litogénico. Sin embargo, aplicando la clasificación de Müller (1979) y de acuerdo con los valores del índice de geoacumulación obtenidos, se

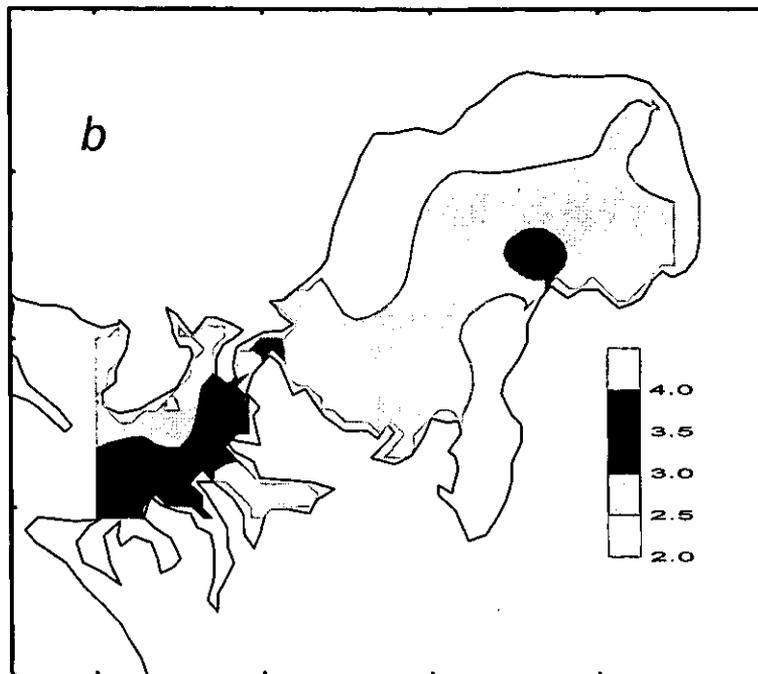
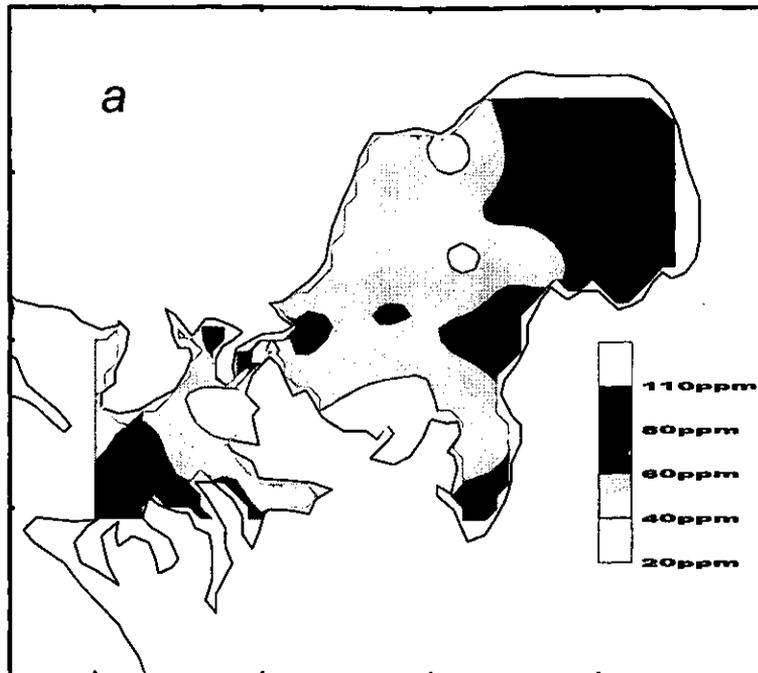


Fig. 4.23.-Distribuci3n de a) concentraci3n total y b) factores de enriquecimiento de zinc.

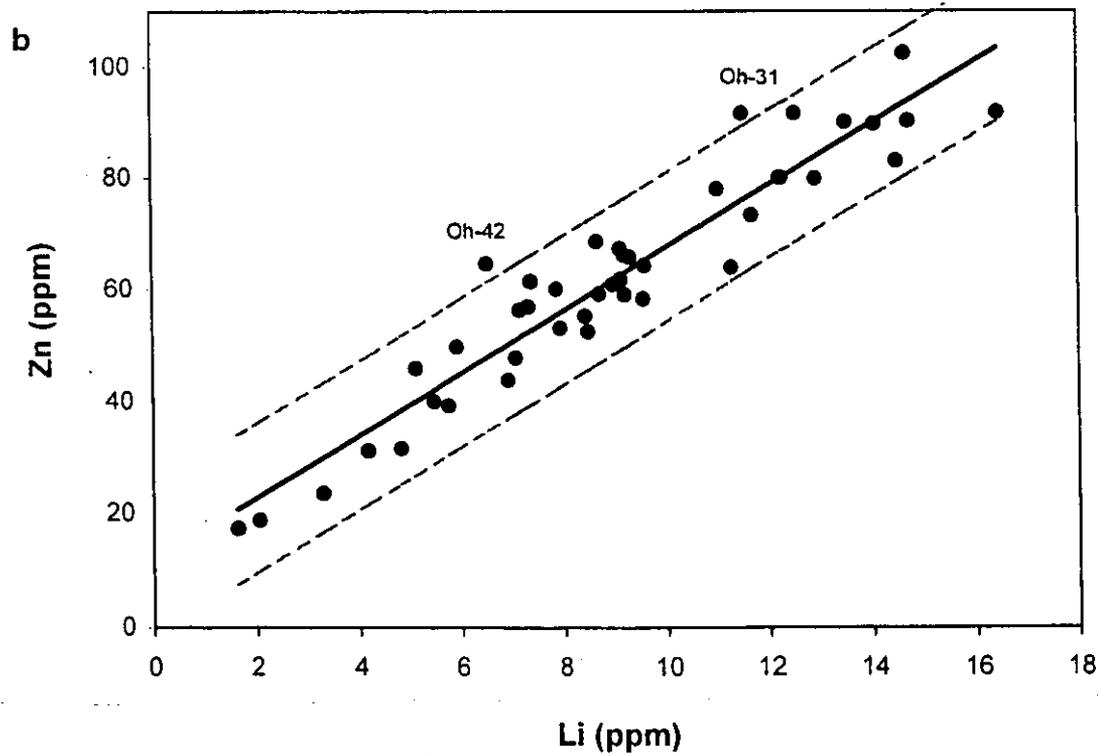
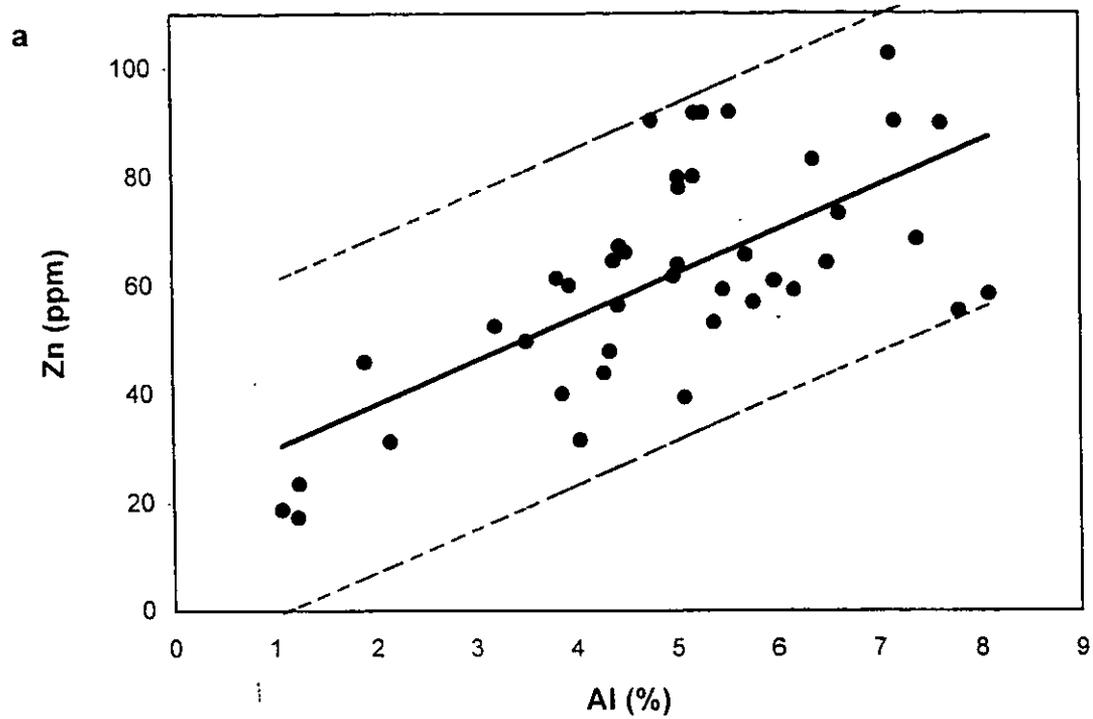


Fig. 4.24 Concentración de Zn contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

considera que el sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo no están contaminadas con zinc.

La proporción de zinc en la fase biodisponible de los sedimentos de este sistema lagunar varió entre 12.5 y 57.2 %, con un promedio de 30.8 ± 13.6 %. En las estaciones OH14, OH17, OH19 se localizaron los valores mayores a 50 % (Fig. 4.25). La estación OH14 posee un alto contenido de carbonatos (77.1 %) y una baja concentración de sedimentos finos (39.5 %), contrariamente a la estación OH17 que contiene un bajo porcentaje de carbonatos (14.2) y más del 50 de sedimentos finos. Por su parte, la estación OH19 tiene una baja concentración de carbonatos (12.6 %) y también un bajo contenido de sedimentos finos (28.8 %).

Estos diferentes escenarios, indican que existen diversos procesos que están interviniendo simultáneamente en los mecanismos de fraccionamiento del zinc. La estación OH17 está cerca de la desembocadura del dren Los Mochis, que descarga parte de las aguas residuales de la ciudad del mismo nombre, de un ingenio azucarero y que atraviesa los campos agrícolas.

4.3.3.2 Distribución vertical de los elementos en los sedimentos del Núcleo OH5

Los perfiles verticales de los parámetros determinados en los sedimentos del núcleo OH5 se observan en la figura 4.26. Las concentraciones totales promedio, su desviación estándar, el máximo y mínimo valor de carbonatos, carbono orgánico y los metales de las secciones del núcleo OH5 se presentan en la tabla 4.6, en tanto que los valores nominales se encuentran en el anexo XVII. Los coeficientes de correlación de los parámetros analizados en las secciones del núcleo se muestran en la tabla 4.7.

Carbonatos

El promedio de carbonatos en el núcleo OH5 es de $10 \pm 1.6\%$, con el mayor contenido hacia las secciones profundas (35-40 cm) y el menor en las secciones intermedias (12-

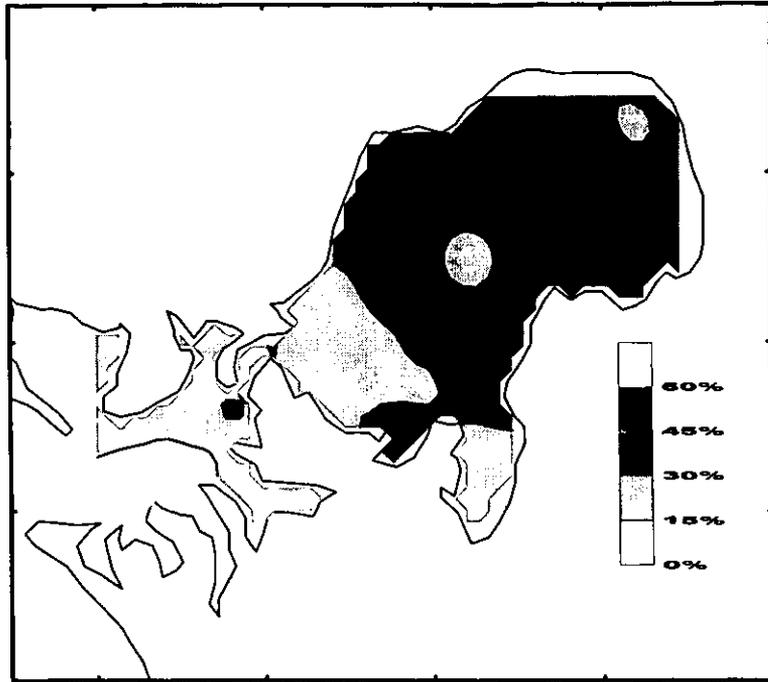


Fig. 4.25.- Distribución de la proporción de zinc biodisponible.

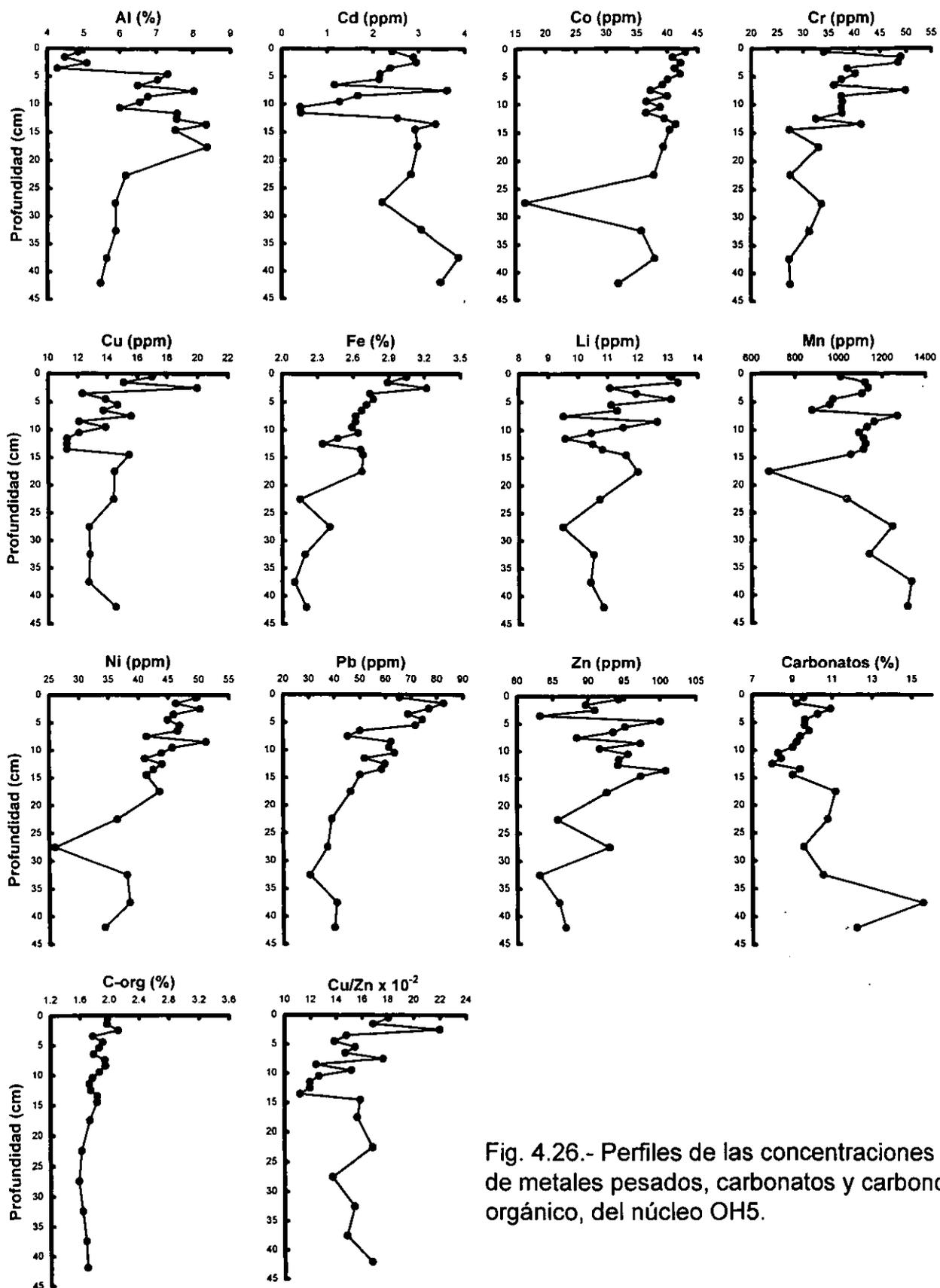


Fig. 4.26.- Perfiles de las concentraciones de metales pesados, carbonatos y carbono orgánico, del núcleo OH5.

13 cm). Lo anterior puede indicar un aumento en el aporte de material terrígeno que ya no permite el establecimiento de organismos con exoesqueleto carbonatado. La tendencia a aumentar hacia las capas mas profundas del núcleo se refleja en una buena correlación entre los carbonatos y la profundidad. Un comportamiento similar fue observado en el núcleo El Rastro en Mazatlán, en este estudio (sección 3.3.3.2).

Tabla 4.6.- Promedio, desviación estándar, máximo y mínimo de las concentraciones de carbonatos, carbono orgánico y metales totales, en sedimentos del núcleo OH5, Bahía de Ohuira.

	Promedio	Desv. Están.	Máximo	Mínimo
Carbonatos (%)	10.0	1.6	15.5	8.0
C-orgánico (%)	1.8	0.1	2.1	1.6
Al (%)	6.4	1.2	8.4	4.3
Cd (ppm)	2.4	1.0	3.9	0.4
Co (ppm)	38.0	5.5	43.0	16.6
Cr (ppm)	36.4	6.8	49.9	27.3
Cu (ppm)	13.9	2.1	20.0	11.2
Fe (%)	2.6	0.3	3.2	2.1
Li (ppm)	11.2	1.2	13.3	9.5
Mn (ppm)	1096	148	1335	679
Ni (ppm)	42.8	5.9	51.2	26.0
Pb (ppm)	56.0	14.5	82.6	30.3
Zn (ppm)	92.0	5.1	100.7	83.1

Carbono orgánico

La concentración de carbono orgánico osciló entre 1.6 y 2.1 %, con un promedio de 1.8 \pm 0.1. Los mayores contenidos de carbono orgánico se presentaron en las secciones

superficiales, con un claro descenso conforme se incrementa la profundidad; como resultado de los procesos de oxidación de la materia orgánica y su consecuente descomposición, aunado, posiblemente, a un aumento en el aporte de material orgánico en fechas recientes. Este comportamiento también fue encontrado en el núcleo El Rastro en Mazatlán.

Con la idea de observar cambios en las condiciones redox a lo largo de la columna sedimentaria, se obtuvo el perfil de la relación Cu/Zn, como lo propuso Manheim (1961), quien es citado por Páez-Osuna y Osuna-López (1987), sin embargo, no se encontró ninguna relación entre dicho perfil y el correspondiente al contenido de carbono orgánico.

Tabla 4.7.- Matriz de los coeficientes de correlación de los parámetros determinados en sedimentos del núcleo OH5 en la Bahía de Ohuira. ($P < 0.01$).

	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Ni	Pb	Zn	Prof.
CO ₃ ⁻	0.59								-0.53	0.62
C-org		0.61	0.72	0.61	0.86	0.53	0.79	0.78	0.36	-0.75
Al									0.56	
Co					0.48	0.56	0.84	0.58		-0.56
Cr					0.67		0.47	0.63		-0.69
Cu					0.59					
Fe						0.55	0.71	0.79		-0.84
Li							0.62	0.62		-0.48
Ni								0.75		-0.78
Pb										-0.81
Zn										-0.44

* $P < 0.05$

Aluminio

Las concentraciones de aluminio en los sedimentos del núcleo OH5 varían entre 4.3 y 8.4%, observándose los valores más bajos en los primeros 4 cm, a partir de los cuales se incrementa súbitamente hasta casi duplicar su concentración entre los 4 y 20 cm de profundidad, para posteriormente comenzar a disminuir hacia valores intermedios.

Si tomamos en cuenta la distribución vertical de este metal a partir de los 5 cm hacia abajo, el perfil se comporta de manera similar a lo observado en la literatura (Páez-Osuna y Osuna-López, 1987; Szefer y Skwarzec, 1988; Hirschberg *et al.*, 1996), implicando un flujo ascendente desde capas reductoras hacia una zona de oxidación que permite la formación de óxidos de hierro y manganeso y su asociación con este metal. Los bajos niveles de aluminio en las capas superficiales pueden deberse a una disminución del aporte de este metal o a un aumento de otros materiales (posiblemente orgánicos), que estén provocando su dilución.

Cadmio

Las concentraciones promedio de este metal en el núcleo OH5 varían entre 3.9 y 0.4 ppm siendo comparable al promedio superficial. En los primeros centímetros (1 – 12 cm) muestra un descenso en los valores determinados, pero después de esta profundidad se incrementa drásticamente, para después empezar a disminuir gradualmente hasta la sección más profunda que se muestreo (40 – 45 cm). En este perfil se presenta nuevamente la tendencia de migración ascendente del metal, pero en dos partes, una en los primeros 12 cm, con niveles relativamente bajos y la segunda a partir de los 12 cm con valores más altos. Esta tendencia migratoria se observó en el núcleo El Rastro en Mazatlán, y ha sido encontrada por Szefer y Skwarzec (1988), Páez-Osuna y Osuna-López (1990c) y Hirschberg *et al.* (1996).

Tal como se mencionó en la sección correspondiente al contenido de Cd en los sedimentos superficiales, diversos autores (Alloway, 1990; Alvarez-Arellano y Páez-

Osuna, 1995), han encontrado una asociación entre los niveles de cadmio en los sedimentos y la actividad agrícola, a través de las rocas fosfóricas que sirven de materia prima para la elaboración de fertilizantes.

Aunque en la figura 4.26 no se observa a simple vista alguna similitud entre los perfiles de cadmio y carbonatos, estadísticamente estos parámetros se correlacionaron significativamente ($r= 0.59$), como es el caso de las concentraciones de este metal en los sedimentos superficiales de este cuerpo de agua. Gagnon *et al.* (1993) mencionan que las partículas biogénicas marinas (carbonatadas), son eficientes en el proceso de adsorción de metales.

Cobalto

El perfil de cobalto correspondiente al núcleo OH5 presenta un intervalo que oscila entre 16.6 y 43.0 ppm, descendiendo gradualmente a partir de la superficie hasta una profundidad de 20 – 25 cm, en donde se observa un decremento considerable en la sección 25 – 30 cm, alcanzando el mínimo valor y volviendo a recuperarse en la siguiente sección (30 – 35 cm) para continuar decreciendo gradualmente. Este comportamiento indica una migración de Co desde las secciones profundas con ambientes poco oxidantes, hacia zonas oxidantes en la superficie, como se ha observado con otros metales en este mismo núcleo o en otras localidades (Páez-Osuna y Osuna-López, 1990c; Huang *et al.*, 1994). La disminución correspondiente a la sección 25 – 30 cm., también se observa en los perfiles de Cd, Li y Ni.

Los contenidos de este metal en los sedimentos de núcleo se correlacionaron significativamente con el carbono orgánico, así como con Fe, Li, Ni y Pb, sugiriendo un aporte común para estos metales y la capacidad de la materia orgánica para adsorberlos.

Cromo

Las concentraciones de Cr en las secciones del núcleo variaron desde 27.3 hasta 49.9 ppm, con un promedio de 36.4 ± 6.8 . Aunque un tanto errático, el perfil del Cr para el núcleo OH5 muestra una disminución desde la superficie hacia el fondo, como consecuencia de la migración ascendente de este metal. La variación en zigzag entre cada sección podría estar asociada a temporadas de mayor y menor aporte de este metal en forma consecutiva (Por ejemplo: épocas de lluvia y secas).

Las concentraciones de este metal se correlacionaron con aquellas del carbono orgánico ($r= 0.72$), Fe ($r= 0.67$), Ni ($r= 0.47$) y Pb ($r= 0.63$), como resultado de la eficiencia del material orgánico y los óxidos de hierro para atrapar los iones de Cr.

Cobre

Se observa una disminución del contenido de cobre desde la superficie del núcleo OH5 hacia el fondo del mismo, alcanzando su mínima concentración a los 12 – 14 cm (11.2 ppm), a partir de los cuales aumenta hasta llegar a un valor intermedio (15.4 ppm) y vuelve a descender gradualmente. Este ascenso repentino también se presenta (1 cm arriba) en los perfiles de Al, Cd y Cr, aun cuando no existe una correlación significativa entre estos y el Cu. Las concentraciones de este metal únicamente se correlacionaron con el contenido de carbono orgánico ($r= 0.61$) y Fe ($r= 0.59$), evidenciando la importancia que tienen estos en la geoquímica del cobre. La falta de correlación entre Cu y los otros metales, puede ser el resultado del uso intensivo de un fungicida de nombre Cupravit, rico en cobre, el cual se ha utilizado en el valle agrícola de Culiacán (International Atomic Energy Agency, 1990; Páez-Osuna *et al.*, 1993), y es probable que también en el valle agrícola del Fuerte, el cual drena hacia la Bahía de Ohuira. Lo anterior, también puede ser la causa de que la relación Cu/Zn no funcione en este cuerpo de agua como indicadora de las condiciones redox, como lo sugiere Manheim (1961).

Hierro

Por su parte el núcleo OH5, con un promedio de 2.6 ± 0.3 % de Fe, presenta un perfil descendente a partir de las secciones superficiales hacia las más profundas. Este comportamiento típico (Páez-Osuna y Osuna-López, 1987; Szefer y Skwarzec, 1988), es el resultado de la liberación de hierro en ambientes poco oxidantes y su consecuente migración hacia zonas donde este metal puede formar óxidos y mantenerse en fase sólida (capas superiores). La capacidad de los óxidos de hierro para atraer iones metálicos y material orgánico (Horowitz y Elrick, 1987), propicia una buena correlación entre el Fe y Co ($r= 0.48$), Cr ($r= 0.67$), Cu ($r= 0.59$), Li ($r= 0.55$), Ni ($r= 0.71$) y Pb ($r= 0.79$), así como con el carbono orgánico ($r= 0.86$).

Litio

En lo que respecta al núcleo OH5, el promedio de las concentraciones de este metal fue de 11.2 ± 1.2 , con una variación entre 9.5 y 13.3 ppm. El litio presenta un comportamiento similar al Fe ($r=0.55$), con los máximos valores en la superficie y una tendencia a decrecer hacia el fondo. Las concentraciones encontradas en el núcleo son comparables a aquellas observadas en los sedimentos superficiales. Además de la buena correlación que presentó con Fe, el Li también se correlacionó con Co ($r= 0.56$), Ni ($r= 0.62$) y Pb ($r= 0.62$), sugiriendo una fuente de aporte común, aunado a que procesos similares estén influenciando en su distribución.

Manganeso

El contenido de Mn en los sedimentos del núcleo osciló entre 679 y 1335 ppm, con un promedio de 1096 ± 148 ppm. El comportamiento demasiado errático del manganeso no corresponde a lo que generalmente se ha observado en otras zonas de estudio. Esto puede ser el reflejo del empleo de agroquímicos (por ejemplo Maneb) en la región agrícola adyacente a la Bahía de Ohuira, sin ningún patrón establecido a lo largo del tiempo. De hecho, algunos autores (International Atomic Energy Agency, 1990; Páez-

Osuna *et al.* 1993), han hecho referencia al uso de dicho fungicida en el valle agrícola de Culiacán, y es de esperarse que también se utilice cerca de la zona de estudio.

No existieron correlaciones entre manganeso y los otros parámetros determinados en los sedimentos del núcleo, lo que refuerza la idea del uso indiscriminado de agroquímicos con alto contenido de este metal.

Níquel

El perfil de níquel en los sedimentos del núcleo OH5 muestra un comportamiento descendente a partir de la superficie. El intervalo de concentración de este elemento varía entre 26.0 y 51.2, similar al presentado por los sedimentos superficiales. El valor más pequeño se detectó en la sección 25 – 30 cm. Adicionalmente a las correlaciones significativas ya mencionadas, que se presentaron entre Ni y Co, Cr, Fe y Li, se encontraron también buenas correlaciones con Pb ($r= 0.75$) y carbono orgánico ($r= 0.79$), reforzando la idea de una fuente común y del papel que juega el material orgánico en el comportamiento geoquímico de dichos metales.

Plomo

Por otro lado el núcleo OH5 presentó un perfil de plomo típico para los metales (Szefer y Skwarzec, 1988; Andrews *et al.*, 1999), indicando la emigración desde capas con ambientes poco oxidantes (secciones profundas) hacia zonas de oxidación (superficie). El intervalo de concentración de plomo en el núcleo (30.3 – 82.6 ppm) es comparable al encontrado en los sedimentos superficiales. Sin embargo, el contenido de plomo en los sedimentos del núcleo si se correlaciona con Fe, sugiriendo que los óxidos de hierro intervienen en el comportamiento temporal de este metal.

Zinc

Las concentraciones de zinc detectadas en los sedimentos del núcleo OH5 varían entre

83.1 y 100.7 ppm, con un promedio de 92.0 ± 5.1 ppm y son similares a los máximos contenidos de este metal en los sedimentos superficiales, posiblemente debido a la cercanía de este sitio a una de las principales rutas de aporte de dicho elemento (dren 1° de mayo).

El perfil de zinc en el núcleo mencionado es muy errático, por lo que no se observa ninguna tendencia específica, quizá, como en el caso de manganeso, por el uso de agroquímicos que contienen este metal (Zineb, por ejemplo) (International Atomic Energy Agency, 1990; Páez-Osuna *et al.* 1993)

4.4 Análisis de componentes principales

Dado el número de parámetros analizados en esta zona de estudio, también se realizó un análisis de componentes principales para agrupar elementos, áreas de altas concentraciones y algunos procesos físicos, que pudiesen explicar el comportamiento de los contenidos de los metales pesados en los sedimentos del sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo.

Dicho análisis arrojó como resultado la presencia de tres componentes principales, los cuales explican el 80 % de la varianza (Tabla 4.8). El primer componente explica el 52.7 % de la varianza y se caracteriza por tener únicamente altas cargas negativas (< -0.7) para los sedimentos finos, Al, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni y Zn (Tabla 4.9), lo que sugiere una fuerte correlación entre estos metales debido a su origen común (terrígeno), así como la capacidad de los sedimentos finos de adsorber dichos metales, como resultado de su elevada área superficial (Jenne *et al.*, 1980, Horowitz y Elrick, 1987). El segundo componente solo agrupa al Cd con carga positiva, explicando 19.5 % de la varianza, en tanto que el tercero representa al contenido de carbono orgánico, (7.9 % de la varianza), cuya carga es negativa. Manifestándose la independencia de estos dos parámetros con respecto a los demás parámetros analizados.

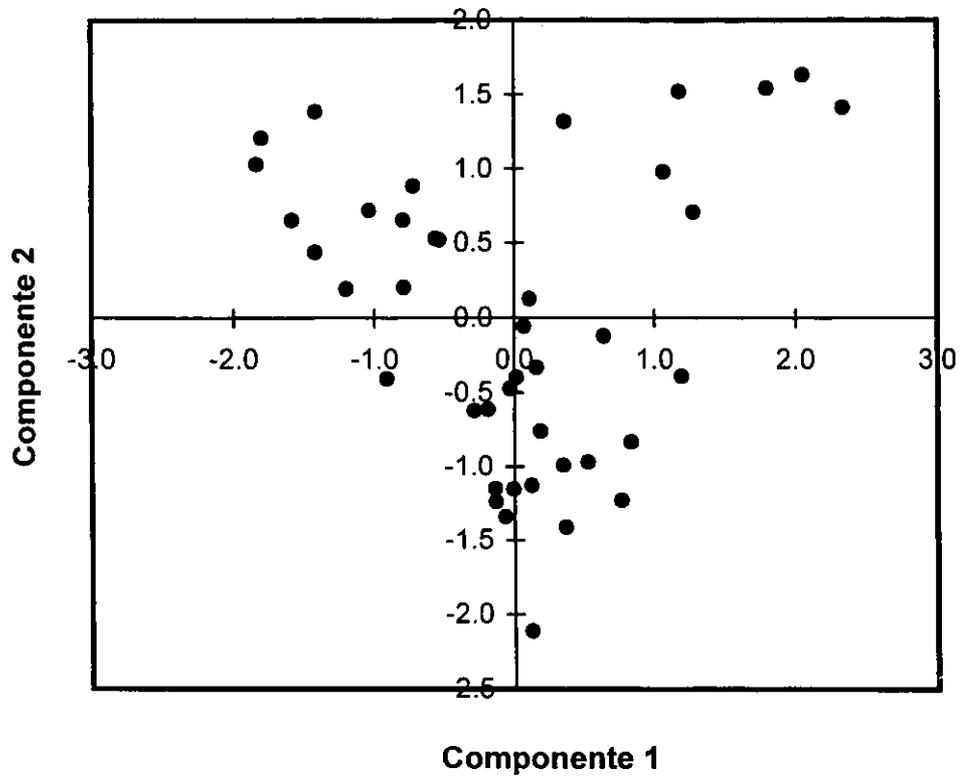


Fig. 4.27.- Análisis de componentes principales en sedimentos del sistema lagunar bahías de Ohuira - Topolobampo, Sin.

Cabe mencionar que ninguno de los tres componentes poseen cargas significativas correspondientes a las concentraciones de carbonatos ni de plomo, y que se intento hacer el análisis con más componentes, sin tener éxito, pues el programa computacional empleado, sólo proporcionó como resultado tres componentes.

Tabla 4.8.- Análisis de componentes principales para la concentración total de los metales pesados, carbonatos, carbono orgánico y porcentaje de finos.

Eigenvalores		Extracción de los componentes principales		
Componente	Eigenvalor	% Varianza total	Eigenval acumul.	% acumulativo
1	7.4	52.7	7.4	52.7
2	2.7	19.5	10.1	72.2
3	1.1	7.9	11.2	80.0

Al graficar las cargas de las estaciones del componente C1 (Anexo XVIII) contra las del C2 (Fig. 4.27), se distinguen tres grupos de estaciones (Tabla 4.10):

Grupo 1, con cargas negativas para el componente 1 y positivas para el componente 2, incluyendo las estaciones localizadas en la cabeza de la Bahía de Ohuira (zona noreste) (Fig. 4.28), caracterizadas por tener altos contenidos de sedimento fino (limos a limos arenosos) y relativamente altas concentraciones de los elementos que conforman este componente, al recibir la descarga del dren 1º de mayo, proveniente de los campos agrícolas.

Grupo 2, con cargas positivas en ambos componentes, el cual reúne una serie de estaciones con bajas concentraciones de sedimentos finos (excepto OH25) y de los metales que representan el componente 1, y altos niveles de Cd. Las cuales se ubican hacia la región suroeste de la Bahía de Ohuira, hacia el canal de San Carlos, el cual conecta dicho cuerpo de agua con la Bahía de Topolobampo.

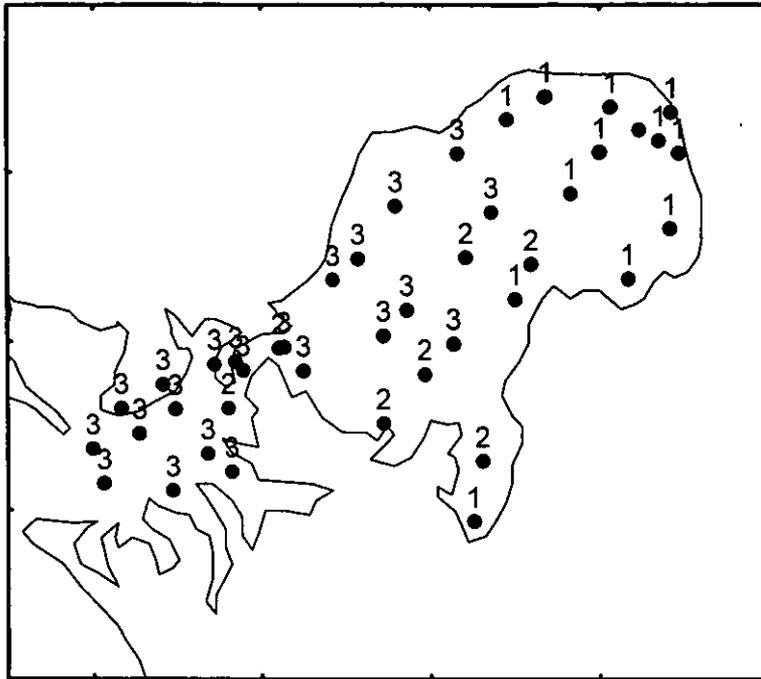


Fig. 4.28.- Distribución de los grupos definidos de acuerdo a sus cargas en el análisis de componentes principales.

Tabla 4.9.- Cargas de los parámetros en los tres componentes principales.

	C1	C2	C3
Finos	-0.78		
C-org			-0.88
Al	-0.73		
Cd		0.78	
Co	-0.76		
Cr	-0.80		
Cu	-0.75		
Fe	-0.86		
Li	-0.97		
Mn	-0.76		
Ni	-0.85		
Zn	-0.97		

Tabla 4.10.- Agrupación de las estaciones de acuerdo a las características de las cargas de los componentes principales 1 y 2.

	Grupos		
	1	2	3
Estaciones			OH12, OH13, OH17,
	OH1, OH2,		OH18, OH19, OH20,
	OH3, OH4,	OH14, OH16,	OH22, OH23, OH27,
	OH6, OH7,	OH21, OH25,	OH29, OH30, OH31,
	OH8, OH9,	OH26, OH 28,	OH33; OH34, OH35,
	OH10, OH11,	OH32	OH36, OH37, OH38,
	OH15, OH24		OH39, OH40, OH41, OH42

Grupo 3, caracterizado por todas aquellas estaciones que poseen cargas negativas en el componente 2, es decir, bajas concentraciones de cadmio, localizadas en la Bahía de Topolobampo y la zona central de la Bahía de Ohuira.

CAPITULO 5

Características granulométricas, mineralógicas y geoquímicas de los sedimentos de la Bahía de Guaymas

5.1 Granulometría

El tamaño de grano de los sedimentos de la Bahía de Guaymas varía desde limos, en la región interna de la laguna costera, hasta Arenas, hacia la boca oriente, entre la Isla de Pájaros y la península Morrito (Tabla 5.1; Anexo XIX; Fig. 5.1a). Esta gradación permite de primer instancia sugerir una división del cuerpo de agua en tres regiones (Fig. 5.1b), existiendo una diferencia significativa entre la concentración de sedimentos finos ($< 63\mu\text{m}$) de la región de la Boca Oriente ($21.7 \pm 11.8 \%$), con respecto del porcentaje encontrado en la Laguna Interior ($81.2 \pm 29.1 \%$) y en la Zona de Transición ($80.5 \pm 27.6 \%$) (Tabla 5.2).

El comportamiento anterior, seguramente obedece a la hidrodinámica del lugar, encontrándose sedimentos finos en zonas de baja energía, y por el contrario, las áreas de alta energía, como los canales de navegación y las bocas del cuerpo de agua, por donde se dirige principalmente el flujo y reflujos de agua al entrar y salir la marea, presentan sedimentos más gruesos. Desgraciadamente, no se tuvo acceso a información de corrientes, dado que no existe o no se ha publicado.

5.2 Mineralogía de la fracción arcillosa de los sedimentos

Entre los minerales arcillosos, la montmorillonita es el menos abundante, con un promedio de $8.2 \pm 5.6\%$ y un intervalo de 0.5 a 20.6% (Tabla 5.1; Anexo XIX), y sin mostrar un patrón de distribución definido (Fig. 5.2a). En tanto que la illita ($45.3 \pm 11.9\%$) dominó en algunas estaciones, alcanzando un máximo de 77.8% en la estación Gyl, en la región más interna del cuerpo lagunar; y un mínimo de 28.8% en la estación

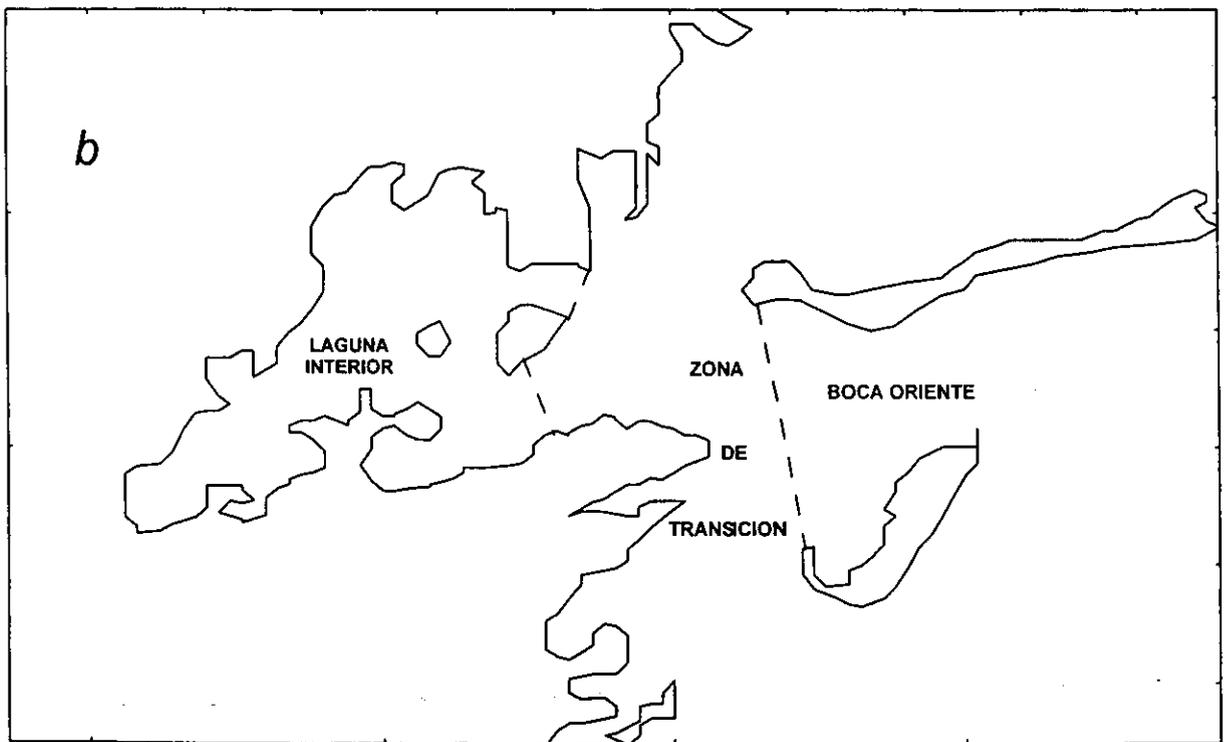
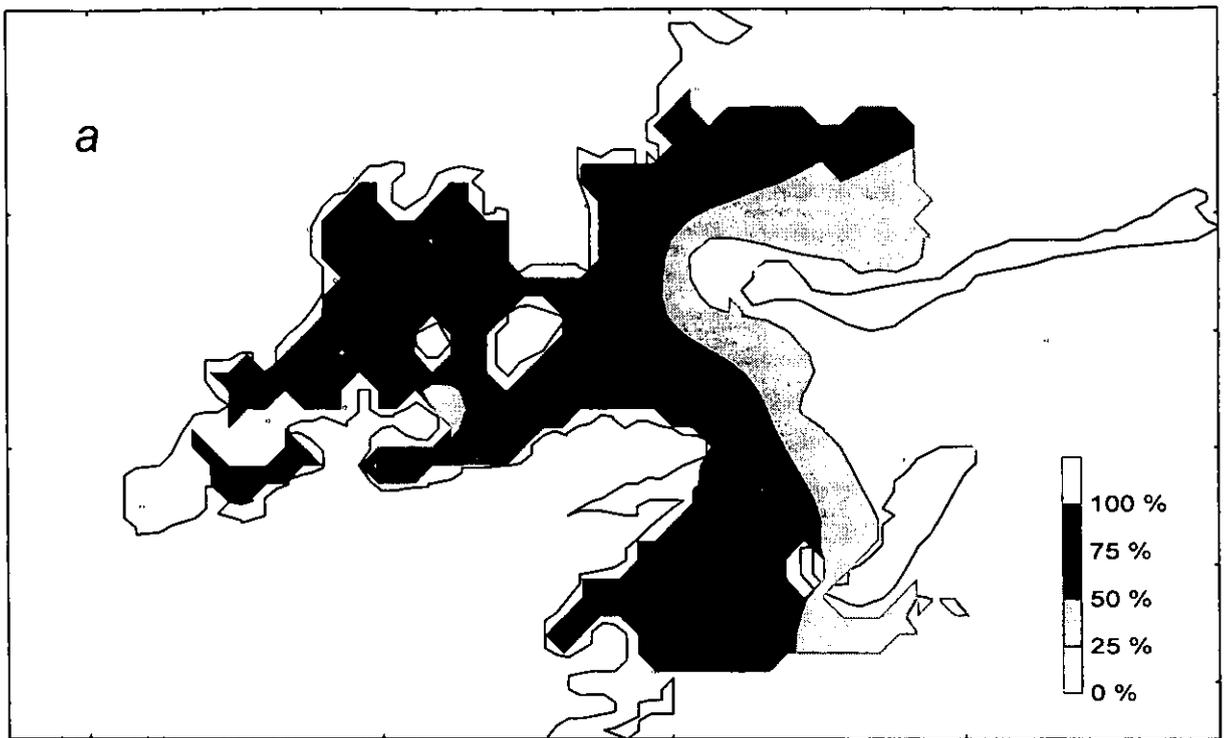


Fig. 5.1- a) Distribucion del porcentaje de sedimento fino, y b) regiones de la Bahía de Guaymas.

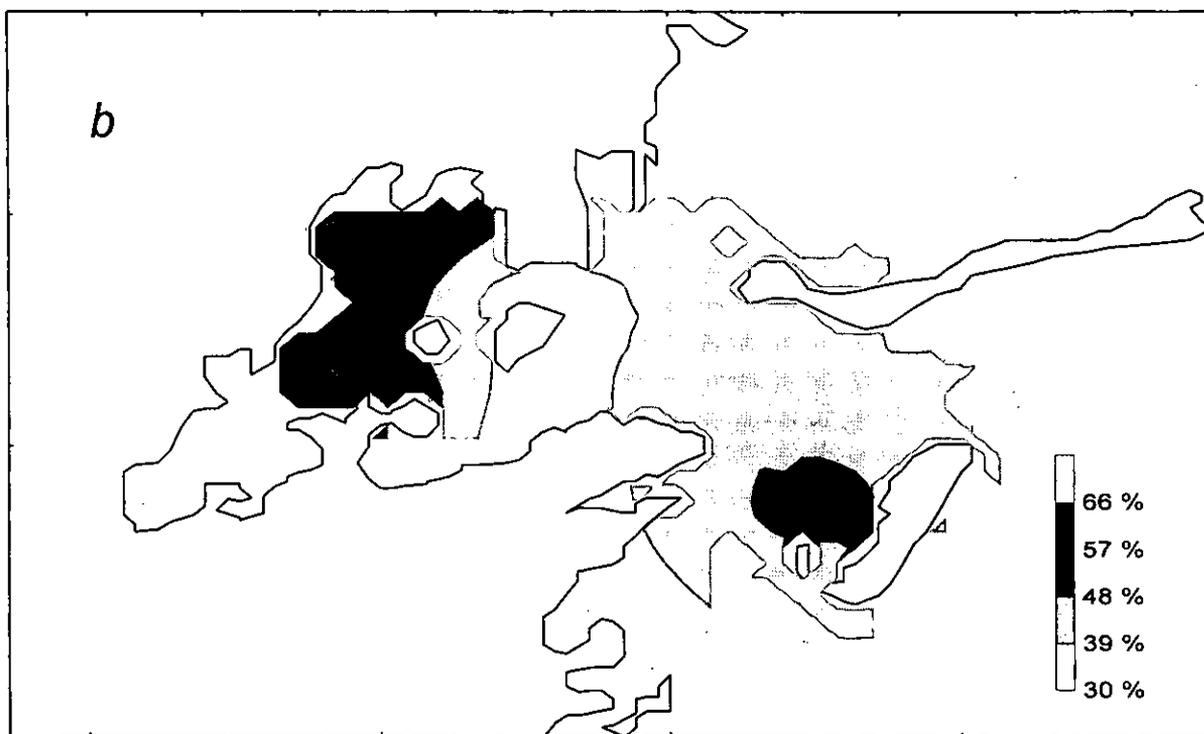


Fig. 5.2.- Distribucion de los porcentajes de a) montmorillonita y b) illita.

Gy35, en la boca sur de este sistema costero, entre las islas de Pájaros y San Vicente (Fig. 5.2b).

Tabla 5.1.- Promedio, desviación estándar, máximo y mínimo de las concentraciones de sedimento fino, carbonatos, carbono orgánico y metales totales, en sedimentos superficiales de la Bahía de Guaymas.

	Promedio	Desv. están.	Máximo	Mínimo
Finos (%)	67.7	34.7	100.0	5.3
Montmorillonita (%)	8.2	5.6	20.6	0.5
Illita (%)	45.3	11.9	77.8	28.8
Caolinita (%)	46.5	13.3	67.5	14.4
Carbonatos (%)	10.5	10.7	66.1	0.8
C-orgánico (%)	2.9	1.9	6.9	0.4
Al (%)	7.0	1.4	11.0	3.3
Cd (ppm)	4.1	0.9	6.4	2.3
Co (ppm)	38.9	5.7	55.6	23.7
Cr (ppm)	32.3	12.0	59.3	10.0
Cu (ppm)	52.7	50.1	205.2	1.7
Fe (%)	2.3	0.9	3.6	0.8
Li (ppm)	8.5	3.6	16.6	1.3
Mn (ppm)	257	83	386	90
Ni (ppm)	40.8	9.5	64.9	23.4
Pb (ppm)	66.2	34.1	194.3	28.1
Zn (ppm)	162.8	136.5	583.8	30.3

El mineral relativamente más abundante en los sedimentos de la Bahía de Guaymas, aunque por poco margen, es la caolinita (46.5 ± 13.3 %), con porcentajes que oscilan

entre 14.4 y 67.5 %. La distribución espacial de este mineral es inversa a la illita (Fig. 5.3a). Dado que la montmorillonita presentó valores pequeños, la proporción porcentual está, prácticamente, en función de los otros dos minerales; por tanto, a mayor porcentaje de caolinita, menor de illita. ($r= 0.91$).

Tabla 5.2.- Promedio (P) y desviación estándar (DE) de los parámetros para cada una de las regiones definidas en la Bahía de Guaymas.

	Laguna interior		Zona de transición		Boca oriente	
	P	DE	P	DE	P	DE.
Finos (%)	81.2 ^b	29.1	80.5 ^c	27.6	21.7 ^{bc}	11.8
Montmorillo. (%)	5.8 ^b	3.6	8.4	7.2	11.3 ^b	5.7
Illita (%)	50.1	16.6	40.5	7.2	43.5	5.5
Caolinita (%)	44.0	17.9	51.1	12.3	45.3	5.3
I/C	1.1	0.6	0.9	0.3	1.0	0.2
Carbonatos (%)	10.5	16.2	10.2	7.8	10.8	2.1
C-orgánico (%)	4.9 ^{ab}	1.3	2.3 ^{ac}	0.9	1.0 ^{bc}	0.5
Al (%)	7.7 ^b	1.8	7.1 ^c	1.0	6.1 ^{bc}	0.4
Cd (ppm)	4.6 ^b	0.8	4.3 ^c	0.7	3.1 ^{bc}	0.5
Co (ppm)	41.4	7.1	37.4	4.9	37.8	3.2
Cr (ppm)	40.6 ^b	9.0	34.0 ^c	9.3	18.4 ^{bc}	5.5
Cu (ppm)	84.8 ^b	46.3	50.7 ^c	45.4	3.9 ^{bc}	2.6
Fe (%)	2.9 ^b	0.8	2.5 ^c	0.7	1.2 ^{bc}	0.2
Li (ppm)	8.6 ^b	3.1	10.5 ^c	3.7	5.4 ^{bc}	1.1
Mn (ppm)	293 ^b	66	282 ^c	75	170 ^{bc}	49
Ni (ppm)	45.9 ^b	5.5	43.9 ^c	8.5	28.8 ^{bc}	3.0
Pb (ppm)	98.2 ^{ab}	37.1	52.4 ^a	15.8	43.1 ^b	7.9
Zn (ppm)	292.8 ^{ab}	144.1	123.0 ^{ac}	55.4	44.1 ^{bc}	9.2

Diferencias significativas entre: ^a laguna interior y zona de transición; ^b laguna interior y boca oriente y ^c zona de transición y boca oriente.

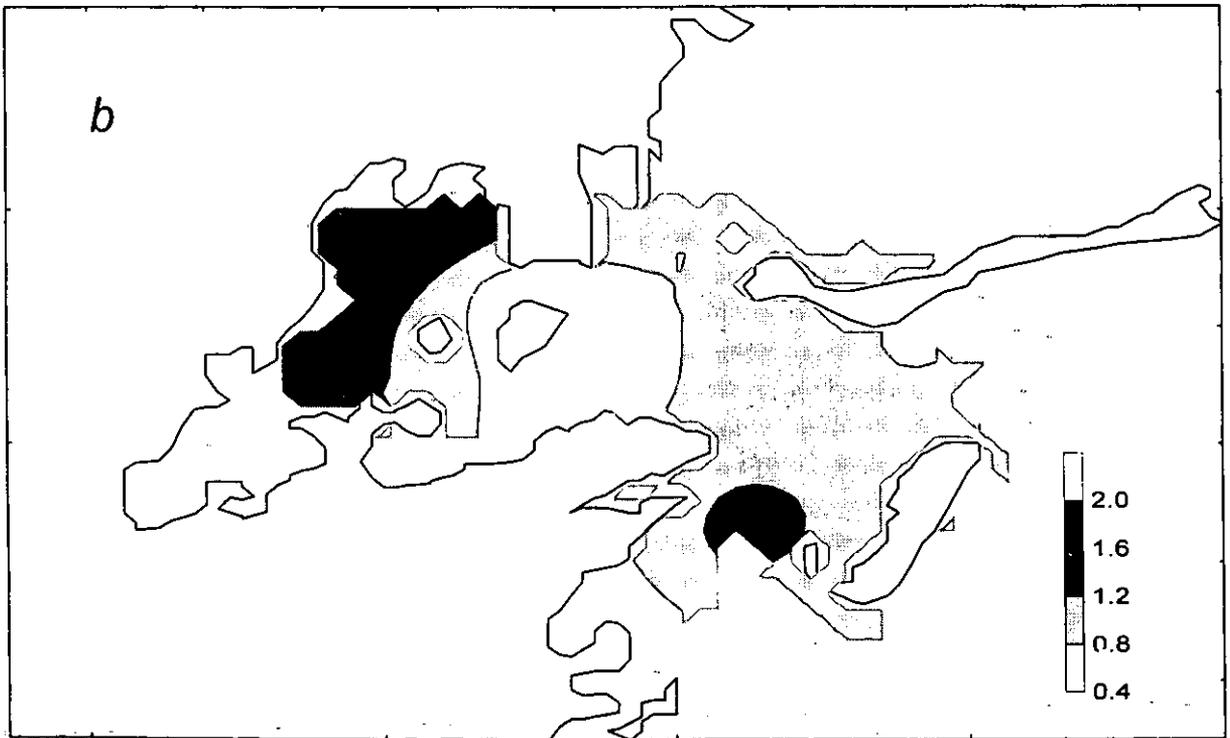
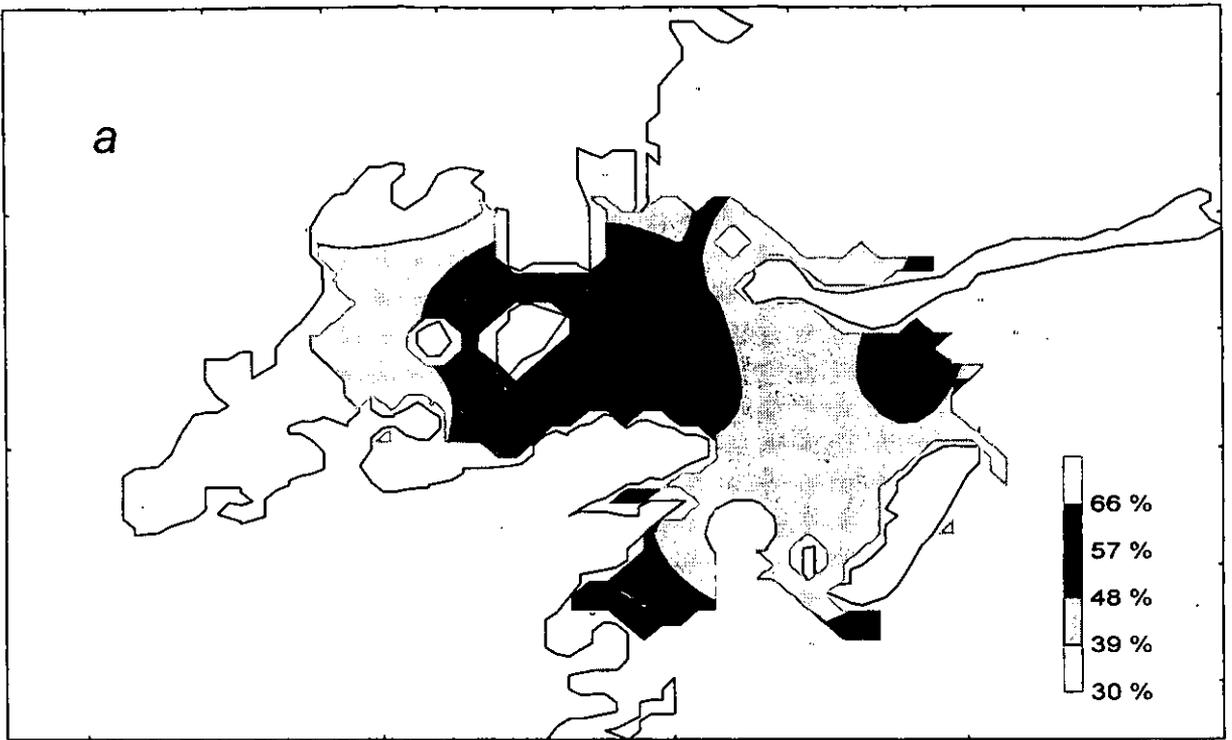


Fig. 5.3.- Distribucion de a) porcentaje de caolinita y b) relación illita/caolinita.

La relación I/C se ha utilizado como indicador de la transición entre ambientes estuarinos ($I/C < 1$) hacia marinos ($I/C > 1$) (Weaver, 1989), sin embargo, en esta zona de estudio se presentan valores mayores a la unidad (dominancia de illita) tanto en la región interna (estación Gy1, Gy7, Gy12), como en el exterior (estaciones Gy32, Gy39, Gy51); pasando lo mismo (obviamente, en distintas estaciones) con los valores de I/C menores a la unidad (mayor abundancia de Caolinita) (Fig. 5.3b).

5.3 Análisis geoquímico

5.3.1 Carbonatos

La concentración de carbonatos en los sedimentos superficiales de la Bahía de Guaymas varió entre 0.8 y 66.1%, con un promedio de $10.5 \pm 10.7\%$ (Tabla 5.1; Anexo XX). Las mayores cantidades de carbonatos se detectaron en las estaciones Gy12, Gy14, Gy18, Gy19 y Gy39 (Fig. 5.4a). Las dos primeras localizadas en la parte interna del sistema lagunar; la segunda y la tercera, en la zona de transición, adyacentes a la isla Almagre grande; y la última, en la boca sur.

La estación Gy12 posee menos del 15% de sedimento fino ($r = -0.28$; $P < 0.05$), en tanto que en las otras estaciones, el porcentaje de limos y arcillas es mayor al 60%. La presencia de material carbonatado en sedimento fino se puede explicar mediante la existencia de organismos con exoesqueleto calcáreo que habitan este tipo de sustrato (almejas).

5.3.2 Carbono orgánico

El contenido de carbono orgánico, el cual osciló desde 0.4 hasta 6.9%, con un promedio de $2.9 \pm 1.9\%$ (Tabla 5.1; Anexo XX), mostró una disminución gradual, con los valores más altos hacia la cabeza de la laguna (Gy1, Gy2, Gy8, Gy9 y Gy10), donde al parecer



Fig. 5.4.- Distribucion de los porcentajes de a) carbonato y b) carbono orgánico.

la circulación es más restringida y existe un mayor aporte de este material (Fig. 5.4b); y los mínimos, hacia la boca de este cuerpo de agua, principalmente en la región ubicada al norte de la Isla de Pájaros, donde la hidrodinámica es mayor y se encuentran los sedimentos con menor contenido de limos y arcillas, reflejándose además en el coeficiente de correlación entre el contenido carbono orgánico y el porcentaje de sedimento fino ($r= 0.70$). Pasando por un zona de transición con valores intermedios de carbono orgánico (estaciones Gy19 a Gy31).

Este comportamiento permite dividir la Bahía de Guaymas en tres ambientes sedimentarios con diferencias significativas entre sus promedios de contenido de carbono orgánico (Tabla 5.3): 1) Laguna interior, con un promedio de 4.9 ± 1.3 %, agrupando las estaciones Gy1 a Gy18; 2) Zona de transición (estaciones Gy19 a Gy38), cuyo promedio fue de 2.3 ± 0.9 %; e incluyendo la boca sur; y 3) Boca oriente, con valores bajos de contenido de carbono orgánico (1.0 ± 0.5 %).

5.3.3 Metales en sedimentos de la Bahía de Guaymas

5.3.3.1 Distribución de los metales en los sedimentos superficiales

Las concentraciones totales promedio de los metales pesados en los sedimentos superficiales, así como su desviación estándar, máximo y mínimo se muestran en la tabla 5.1, en tanto que los datos completos se presentan en el anexo XXI. Los coeficientes de correlación entre estos parámetros se observan en la tabla 5.3. Los valores resumidos correspondientes a los factores de enriquecimiento empleando Al y Li como elementos conservativos y del índice de geoacumulación, se muestran en la tabla 5.4 y los datos nominales en los anexos XXII, XXIII y XXIV, respectivamente.

Aluminio

La concentración de aluminio en los sedimentos varió entre 3.0 y 11 %, con un promedio de 7.0 ± 1.4 %. Los valores más altos se presentaron en las estaciones Gy6,

Tabla 5.3.- Matriz de los coeficientes de correlación de los parámetros determinados en sedimentos superficiales de la Bahía de Guaymas.

	Mont.	Caol.	CO ₃ ⁼	C-org	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Zn
Finos	-0.41		-0.28*	0.70	0.64	0.63	0.53	0.77	0.62	0.93	0.76	0.79	0.90	0.48	0.68
Mont.		-0.44		-0.34*		-0.38		-0.43	-0.46	-0.29*		-0.34*	-0.38	-0.29*	-0.29*
Illita		-0.91		0.40										0.34*	0.29*
Caol. CO ₃ ⁻				-0.30*	-0.45	0.36	-0.49			-0.41	0.28*				-0.31*
C-org					0.48	0.48	0.59	0.61	0.55	0.75	0.40	0.50	0.63	0.66	0.82
Al						0.35*	0.60	0.71	0.57	0.72	0.41	0.66	0.59	0.36	0.51
Cd							0.28*	0.57	0.38	0.53	0.54	0.39	0.65	0.50	0.63
Co								0.35*		0.66	0.51	0.37	0.48	0.53	0.66
Cr									0.68	0.78	0.39	0.78	0.77	0.45	0.58
Cu										0.57		0.63	0.51	0.48	0.55
Fe											0.73	0.77	0.90	0.52	0.71
Li												0.42	0.70		0.46
Mn													0.70	0.29*	0.42
Ni														0.50	0.66
Pb															0.87

* P < 0.05 , el resto en P < 0.01. Verificado por una prueba "t" de student's.

Gy13, Gy15, Gy16 y Gy23 (Fig.5.5), todas con más de 90% de sedimento fino ($r= 0.48$). Las cuatro primeras estaciones se localizan en el ambiente sedimentario, definido aquí, como laguna interior; mientras que la última pertenece a la zona de transición. Cabe mencionar que el valor más bajo de este metal se presentó en la estación Gy12 (en la laguna interior) asociado a un alto contenido de carbonatos ($r= -0.45$) y a una baja concentración de la fracción fina en los sedimentos.

El aluminio se correlacionó significativamente con todos los metales estudiados y con la mayoría de ellos en mayor proporción que el litio, por lo que el procedimiento de normalización sugerido por Szefer *et al.* (1996), así como el cálculo de factores de enriquecimiento (Buat-Ménard. 1979), se discutirán principalmente, al usar este elemento con carácter conservativo.

Tabla 5.4.- Factores de enriquecimiento, empleando Al (FE_{Al}) y Li (FE_{Li}) como elementos conservativos e índice de geoacumulación (I_{geo}) de los sedimentos superficiales de la Bahía de Guaymas.

	FE_{Al}	FE_{Li}	I_{geo}
Cd	48.6 ± 14.8	175 ± 136	4.7 ± 0.3
Cr	0.4 ± 0.1	1.3 ± 1.1	-2.3 ± 0.6
Cu	1.1 ± 1.0	---	-1.5 ± 2.0
Fe	0.6 ± 0.2	1.9 ± 0.6	-1.7 ± 0.7
Mn	0.3 ± 0.1	1.0 ± 0.5	-2.6 ± 0.5
Ni	0.6 ± 0.1	2.2 ± 1.3	-1.5 ± 0.4
Pb	7.7 ± 4.1	---	2.0 ± 0.6
Zn	2.2 ± 1.7	7.1 ± 5.0	-0.04 ± 1.2

--- No calculados debido a que no se correlacionaron significativamente con Al y Li.

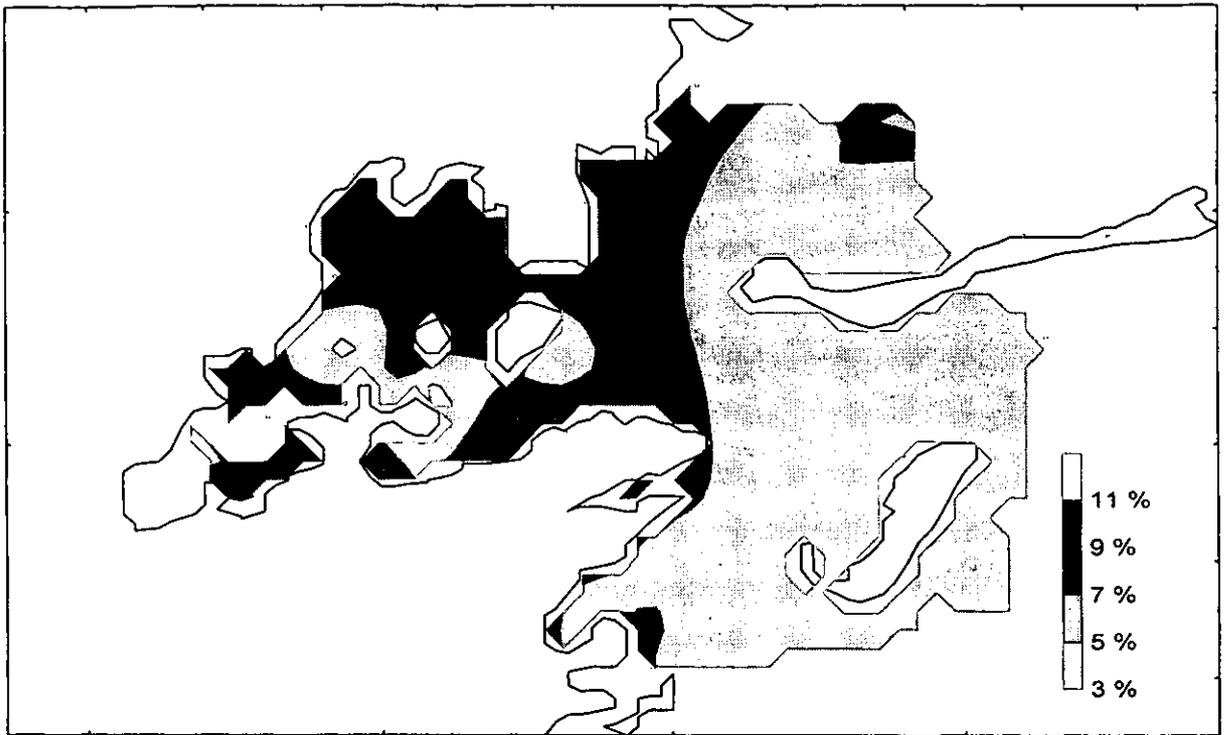


Fig. 5.5- Distribución de la concentración total de aluminio.

Cadmio

Los niveles de Cd en los sedimentos de la Bahía de Guaymas tuvieron un promedio de 4.1 ± 0.9 ppm, con un máximo de 6.4 y un mínimo de 2.3 ppm. Aún cuando no existen diferencias marcadas entre los valores encontrados en el ambiente lagunar interno (4.6 ± 0.8 ppm) y la zona de transición (4.3 ± 0.7 ppm) (Fig. 5.6a), presentándose en ambos las mayores concentraciones, si se diferencian de la boca oriente (3.1 ± 0.5), con contenidos más bajos. Sin embargo, la estación Gy1 (laguna interior) tuvo la menor concentración de Cd, asociada con el mínimo porcentaje de caolinita, con quien este metal se correlacionó ($r= 0.36$).

La buena correlación existente entre Cd y lo otros elementos estudiados indica el origen continental común de estos metales. Asimismo, su correlación significativa con la concentración de los sedimentos finos, el carbono orgánico y la caolinita, evidencian la capacidad de estos últimos para atraer y adsorber los iones de cadmio.

El cadmio mostró factores de enriquecimiento altos ($FE_{Al}= 48.6 \pm 14.8$), alcanzando valores hasta de 113.8, en la estación Gy12 (Fig. 5.6b), donde se presenta el mínimo contenido de Al. Por otro lado, al normalizar los valores siguiendo el criterio de Szefer *et al.* (1996), se detectaron concentraciones de Cd mayores a las esperadas en las estaciones Gy17, frente a la zona naval y cerca de la zona de astilleros, y Gy38, en la boca sur (Fig. 5.7).

Empleando el índice de geoacumulación propuesto por Müller (1979), se considera que esta área de estudio esta fuerte a muy fuertemente contaminada con cadmio ($I_{geo}= 4.7 \pm 0.3$).

La concentración de Cd, Cu, Fe, Pb y Zn en la denominada fase potencialmente biodisponible de los sedimentos fue analizada y su relación porcentual con respecto a la concentración total del correspondiente metal se presenta en el anexo XXV, en tanto que de forma resumida, en la tabla 5.5, se muestran los promedios, desviación

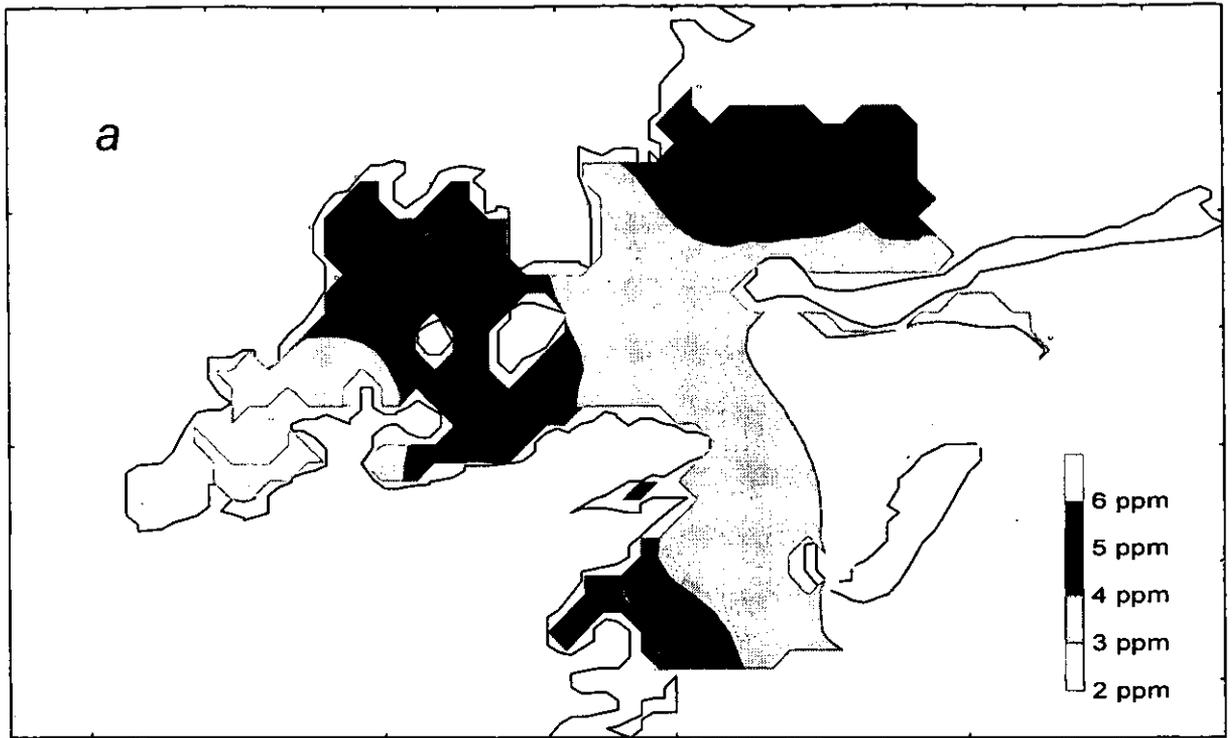


Fig. 5.6.- Distribucion de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del cadmio.

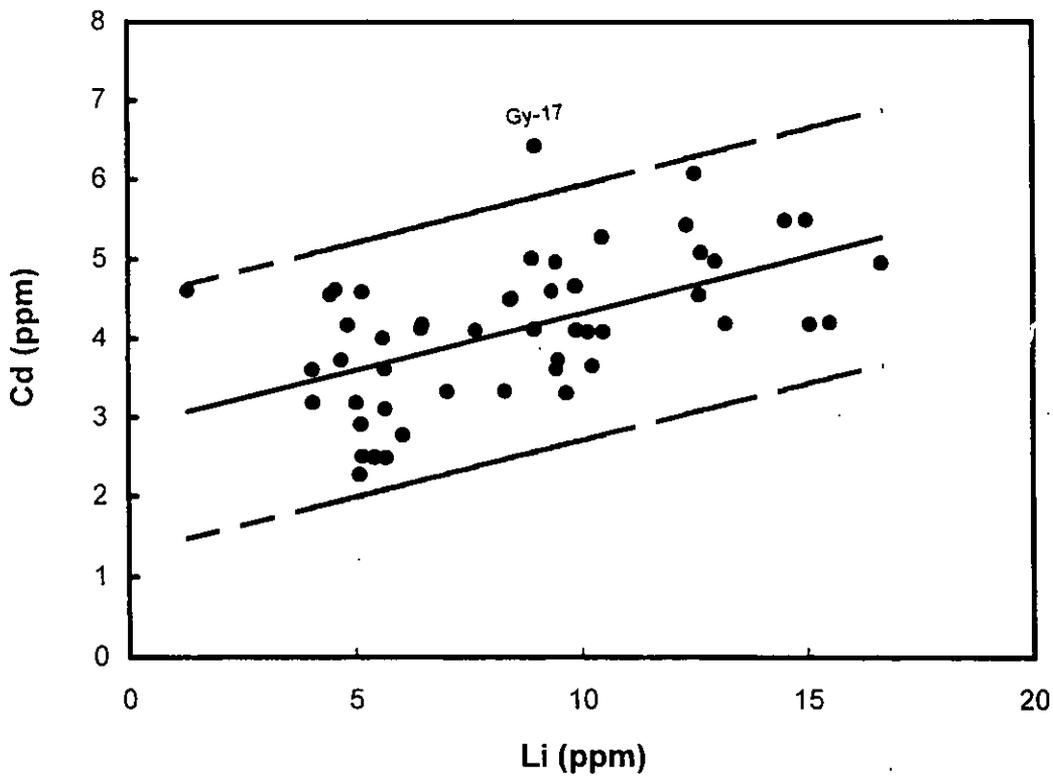
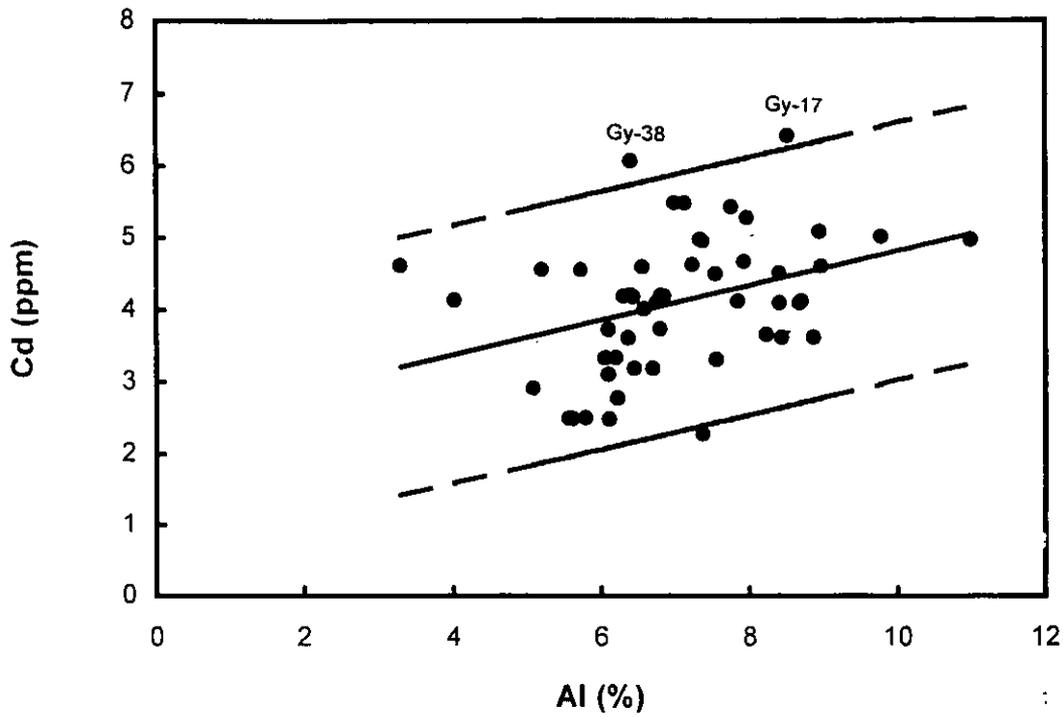


Fig. 5.7 Concentración de Cd contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

estándar, máximos y mínimos de cada metal. Asimismo, la correlación entre estas variables y los otros parámetros se presentan en la tabla 5.6.

Tabla 5.5.- Promedio, desviación estándar, máximo y mínimo de las proporciones de la concentración potencialmente biodisponible, con respecto al contenido total de metales pesados, en sedimentos superficiales de la Bahía de Guaymas. Unidades en %.

	BioCd	BioCu	BioFe	BioPb	BioZn
Promedio	32.9	48.8	10.8	51.6	18.8
Desviación estándar	15.6	14.2	7.1	20.1	6.2
Máximo	65.9	88.4	42.2	96.2	30.5
Mínimo	6.1	23.6	5.1	9.8	8.6

La proporción de Cd que está potencialmente disponible para la biota, respecto al contenido total en cada muestra, osciló entre 6.1 y 65.9 %, con un promedio de 32.9 \pm 15.6 %. Los valores más altos se localizaron en la laguna interior (estaciones Gy3, Gy4 y Gy12) (Fig. 5.8), y en la zona de transición (estaciones Gy35 y Gy38), asociadas a sedimentos finos ($r= 0.67$), en tanto que los mínimos, se ubicaron en la boca oriente (estaciones Gy40, Gy46, Gy47 y Gy51), todas con menos del 25 % de sedimento fino.

De acuerdo con los coeficientes de correlación calculados, el material orgánico, representado por su correspondiente contenido de carbono ($r= 0.66$), juega un papel importante en el fraccionamiento geoquímico del cadmio, al igual que los óxidos de hierro ($r= 0.59$).

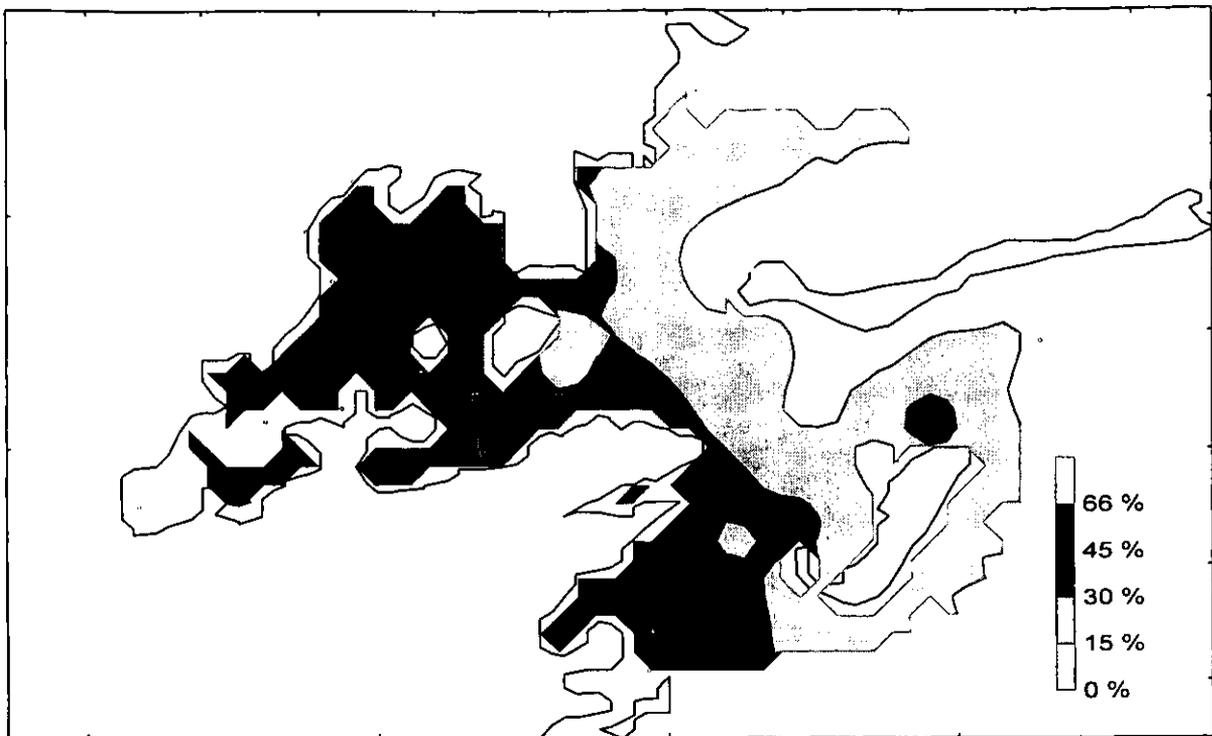


Fig. 5.8- Distribucion de la proporción biodisponible de cadmio, respecto a la concentración total.

Tabla 5.6.- Matriz de coeficientes de correlación de las concentraciones potencialmente biodisponible de metales pesados y los parámetros determinados en sedimentos superficiales de la Bahía de Guaymas. (P < 0.01).

	BioCd	BioCu	BioFe	BioPb	BioZn
Finos	0.67		-0.85	0.76	
Montmorillonita	-0.55			-0.52	
Illita		0.40			
Caolinita		-0.42			
Carbonatos			0.57		
C-org	0.66		-0.61	0.49	-0.35*
Al			-0.69	0.36*	
Cd	0.54		-0.43	0.48	
Co	0.32*	0.36	-0.60		-0.30*
Cr	0.44		-0.61	0.61	
Cu	0.35*		-0.51	0.30*	-0.34
Fe	0.59		-0.86	0.65	
Li	0.51		-0.67	0.61	0.37
Mn	0.28*		-0.79	0.54	
Ni	0.62		-0.74	0.71	
Pb	0.54	0.46	-0.33*		-0.57
Zn	0.66	0.43	-0.57	0.43	-0.45
BioCd		0.37	-0.37	0.63	
BioFe				-0.53	

* P < 0.05

Cobalto

El promedio de la concentración de Co en los sedimentos fue de 38.9 ± 5.7 ppm, con un intervalo entre 23.7 y 55.6 ppm. Los contenidos más altos se localizaron en la laguna

interior (Gy7, Gy8, Gy9, Gy10), y en la zona de transición (estación Gy36), en la boca sur (Fig. 5.9); todas ellas caracterizadas por tener altas cantidades de sedimento fino ($r= 0.53$) y altos contenidos de carbono orgánico ($r= 0.59$), como resultado de la dependencia del comportamiento geoquímico del cobalto con respecto de estos parámetros.

Los mínimos valores de los contenidos de Co en los sedimentos se presentaron también en la laguna interior (Gy5 y Gy12), y en la zona de transición (Gy19, Gy28 y Gy29), asociadas a bajos porcentajes de sedimento fino (<25%) o a contenidos de carbonatos mayores de 40% ($r= -0.49$). Este metal se correlacionó significativamente con los otros elementos estudiados, a excepción de Cobre.

Las estaciones Gy8 y Gy10, ubicadas en la Laguna Interior, presentaron concentraciones anómalas, de acuerdo con el criterio de normalización de Szefer *et al.* (1996) (Fig. 5.10).

Cromo

El contenido de cromo en los sedimentos superficiales varió entre 10.0 y 59.3 ppm, con un promedio de 32.2 ± 12.0 . Las concentraciones más altas de este metal se detectaron en los sedimentos de la laguna interior (40.6 ± 9.0 ppm), en las estaciones Gy13, Gy15 y Gy17; y en la zona de transición (34.0 ± 9.3 ppm), en las localidades de muestreo Gy20 y Gy21; todas asociadas a sedimentos con más del 90% de fracción fina ($r= 0.77$) y a valores intermedios a altos de carbono orgánico ($r= 0.61$). Mientras que los más bajos contenidos se observaron en la boca oriental (18.4 ± 5.5), en las estaciones Gy39 a Gy43) (Fig. 5.11a), donde se presentan porcentajes menores a 17% de sedimento fino; a excepción de la estación Gy39, en la cual se observó el 56% de finos, pero que contiene una alta concentración de carbonatos (16.6%), lo cual puede estar diluyendo el contenido de este metal.

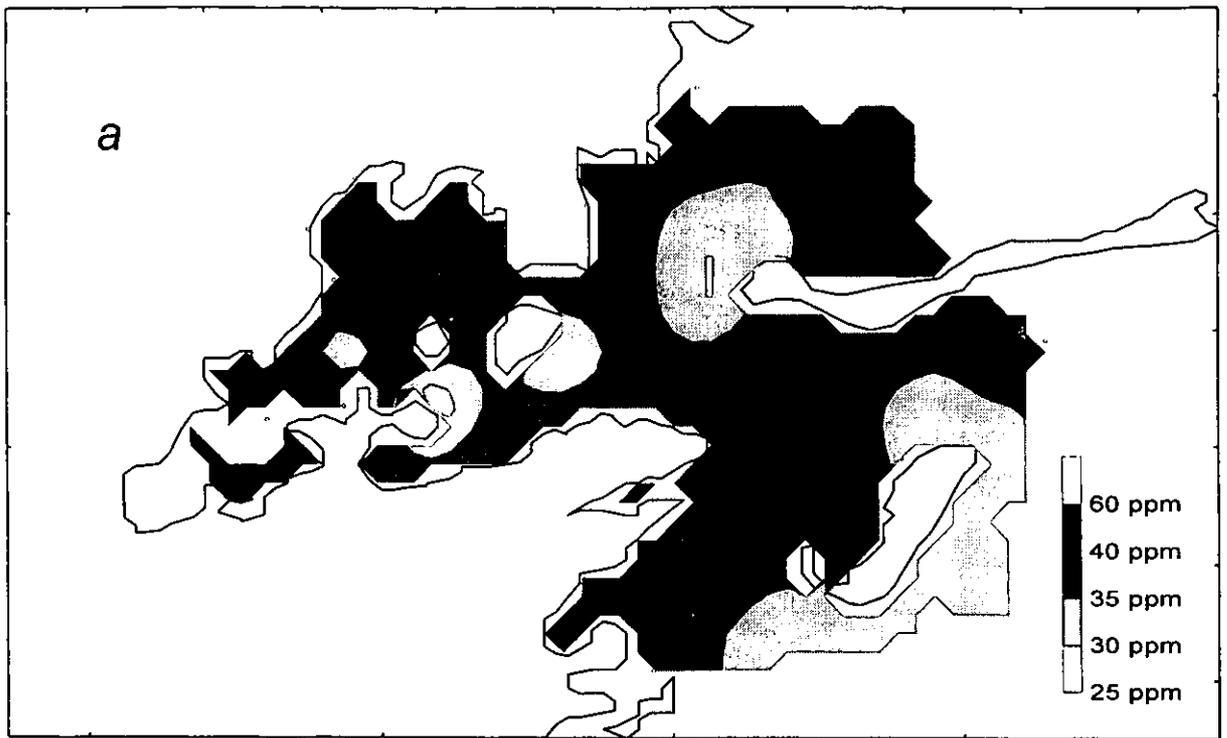


Fig. 5.9.- Distribucion de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del cobalto.

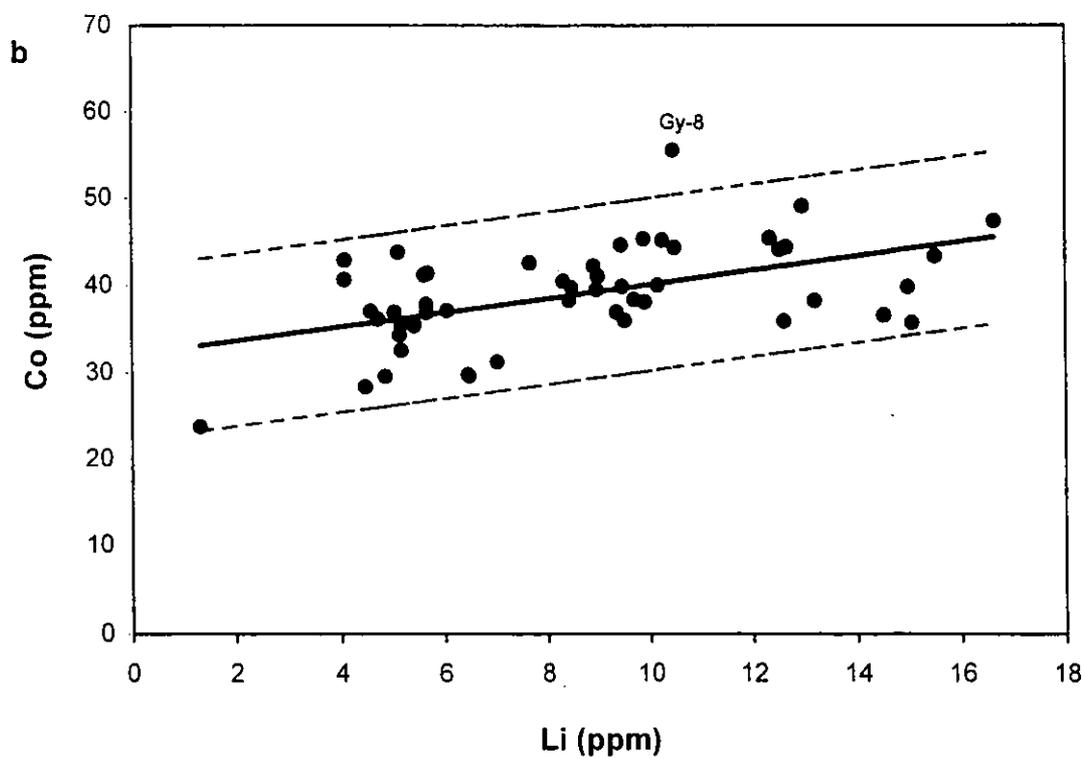
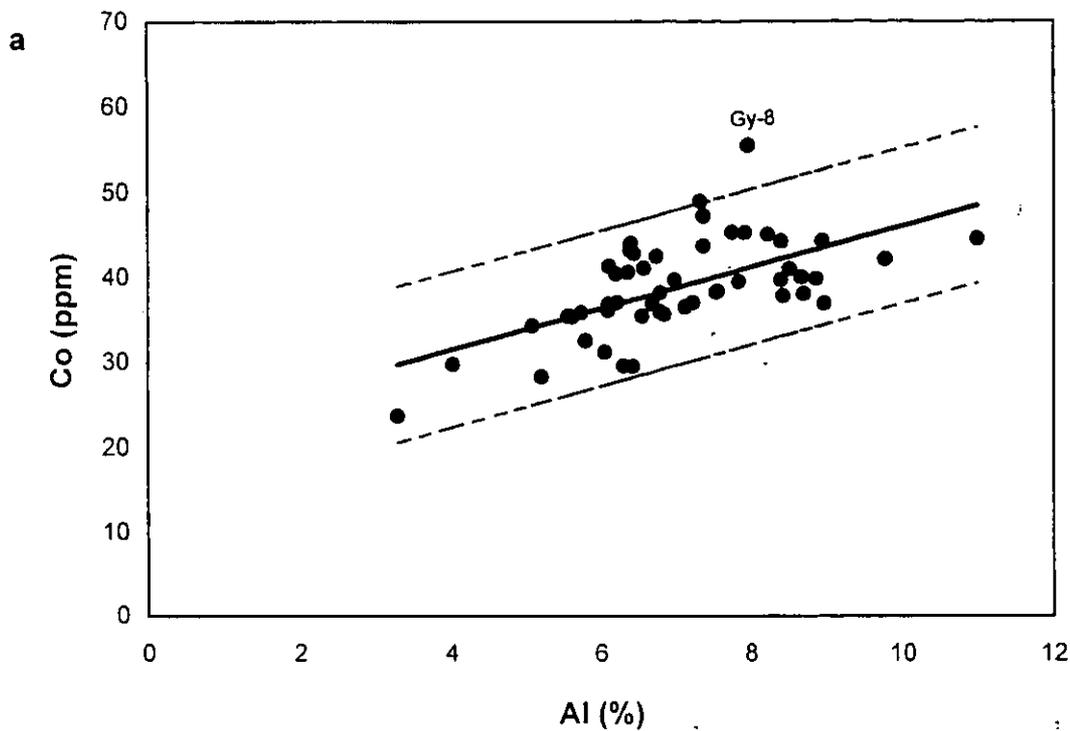


Fig. 5.10 Concentración de Co contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar)

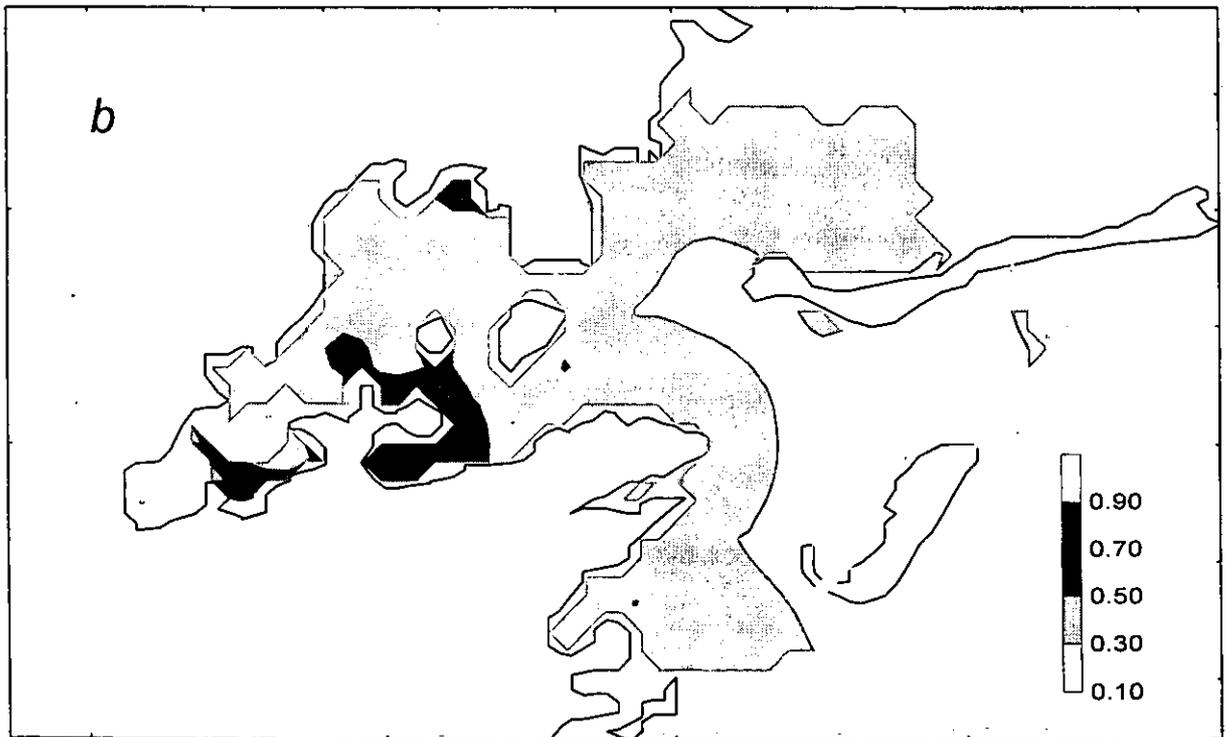
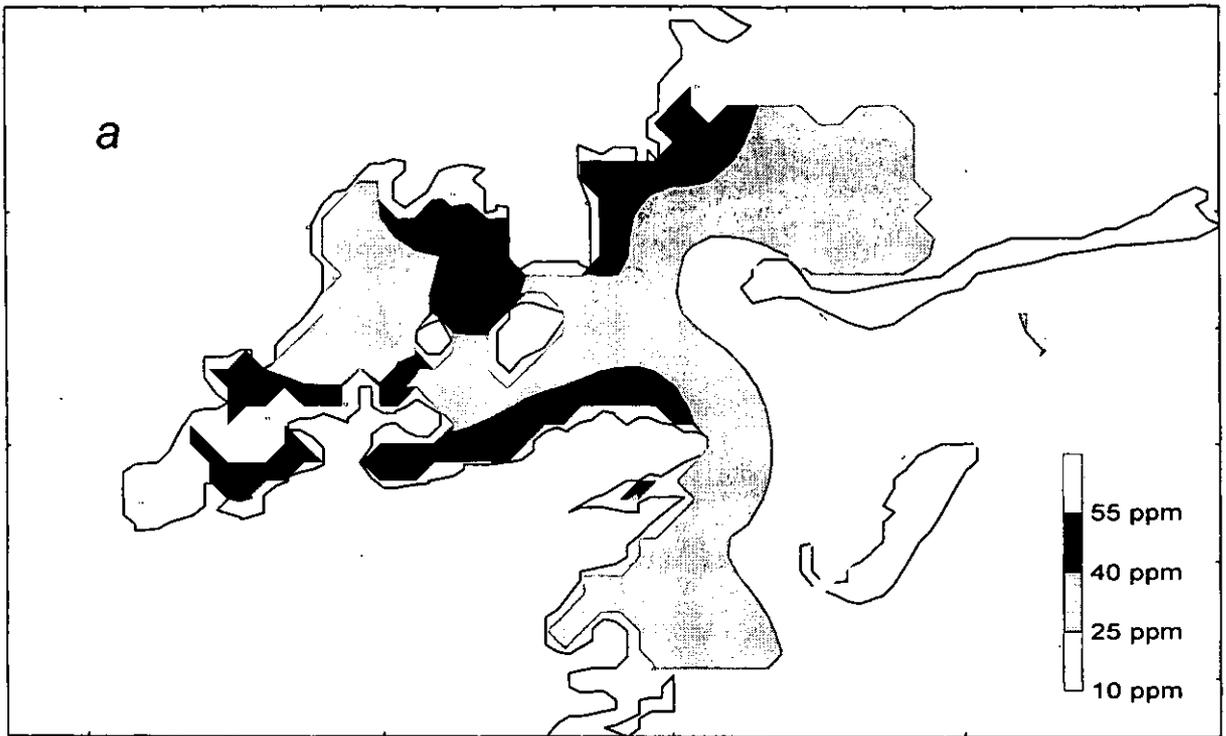


Fig. 5.11.- Distribucion de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del cromo.

El Cr se correlacionó significativamente con todos los metales aquí estudiados, siendo los máximos coeficientes ($r= 0.78$), los correspondientes a Fe y Mn, sugiriendo que los óxidos de estos metales, intervienen en mayor grado en la geoquímica del cromo (Horowitz y Elrick, 1987).

En cuanto a los factores de enriquecimiento, se observa que son menores a la unidad ($FE_{Al}= 0.4 \pm 0.1$), lo que indica que la concentración de cromo esta siendo diluida gradualmente desde la laguna interior hacia la boca oriente (Fig. 5.11b). Sin embargo, la figura 5.12 muestra anomalías en el contenido de cromo, de acuerdo a la concentración de Al correspondiente, en las estaciones Gy12 y Gy17; la primera con un bajo contenido de sedimentos finos y alto de carbonatos, lo que puede estar diluyendo el aluminio, utilizado como elemento conservativo, y la segunda, adyacente a la zona naval y relativamente cerca de los astilleros.

El índice de geoacumulación propuesto por Müller (1979), indica que este cuerpo lagunar no esta contaminado con cromo ($I_{geo}= -2.3 \pm 0.6$).

Cobre

Los niveles de cobre oscilaron entre no detectables y 205.2 ppm, obteniendo un promedio de 52.7 ± 50.1 ppm. Las concentraciones mayores de Cu se presentaron en los sedimentos de la laguna interior (84.8 ± 46.3 ppm.) principalmente en las estaciones Gy18, Gy17 y Gy4 (Fig. 13a); y en la zona de transición (50.7 ± 45.4 ppm), en las estaciones Gy24 y Gy25, para disminuir conforme se acerca a las bocas, teniendo un contenido significativamente menor en la boca oriente (3.9 ± 2.6 ppm).

Este metal se correlacionó con la abundancia de partículas finas ($r= 0.62$), el contenido de carbono orgánico ($r= 0.55$) y con los demás metales analizados, excepto con Co y Li; teniendo los mayores coeficientes de correlación con el Fe y con el Mn ($r=0.78$, en ambos casos), manifestando la dominancia de la intervención de los óxidos de hierro y manganeso en los procesos geoquímicos del cobre.

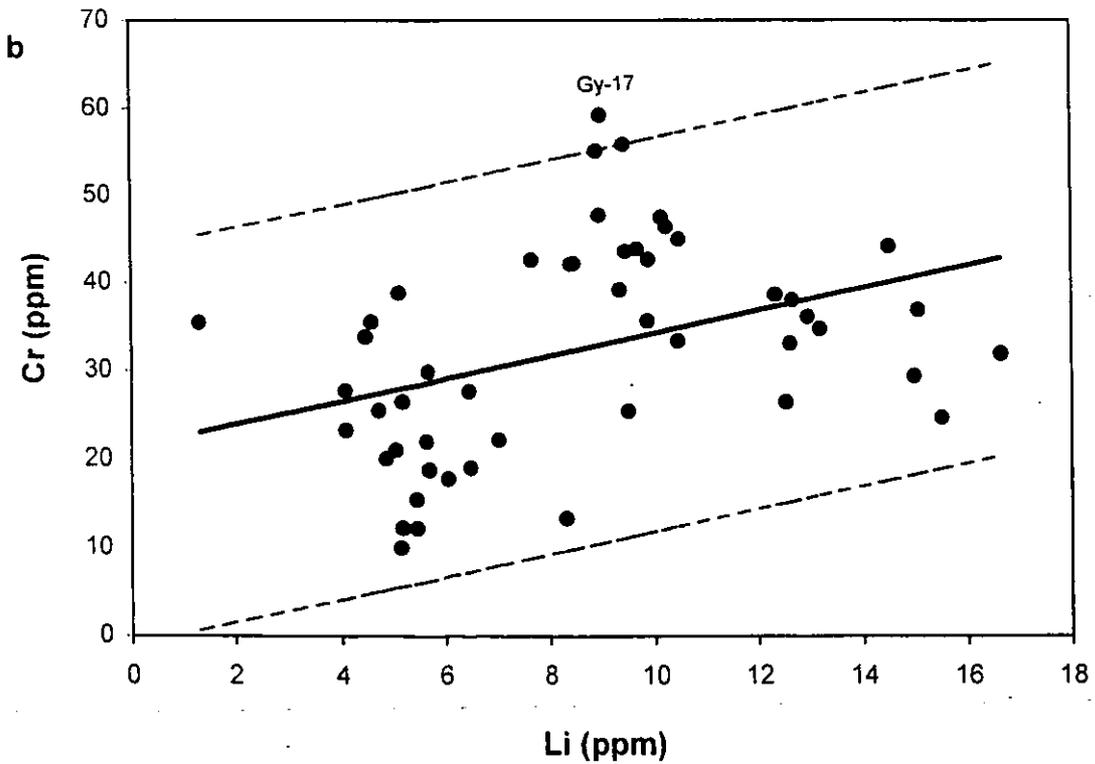
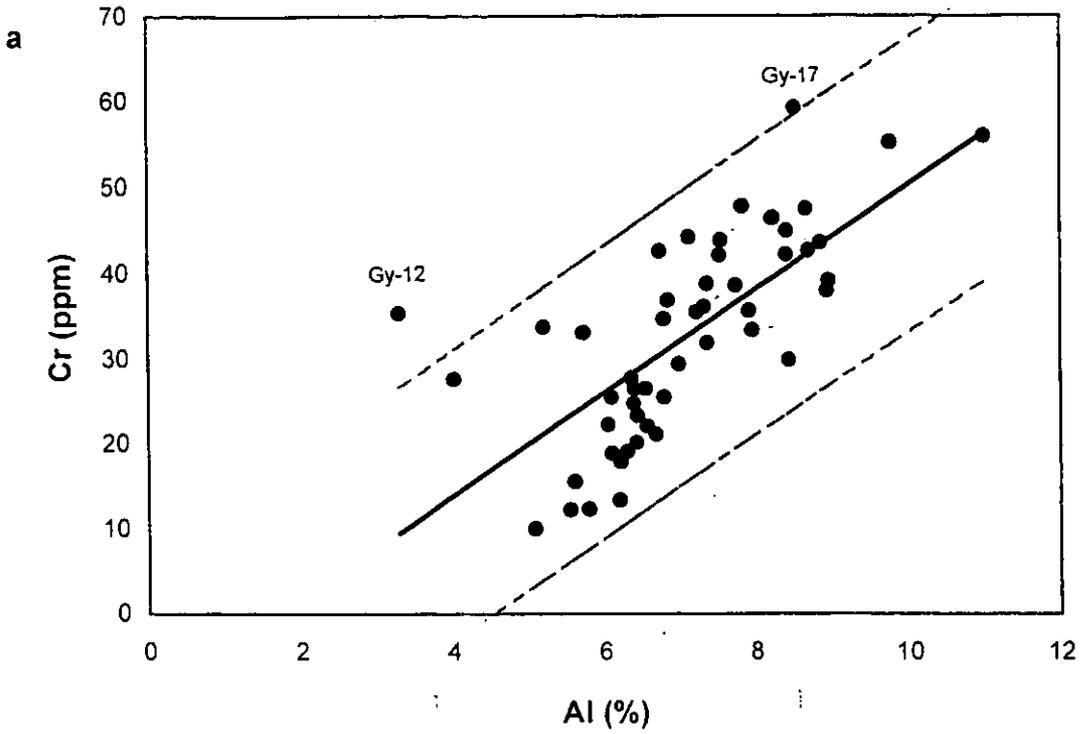


Fig. 5.12 Concentración de Cr contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

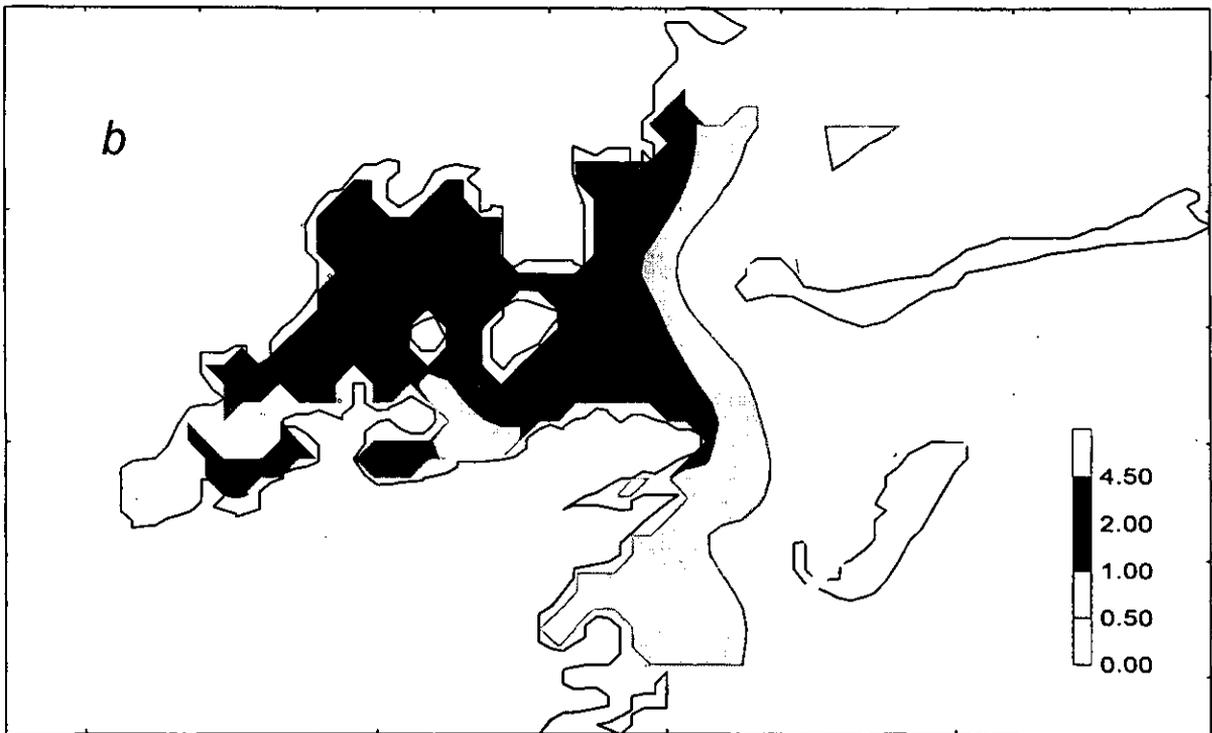
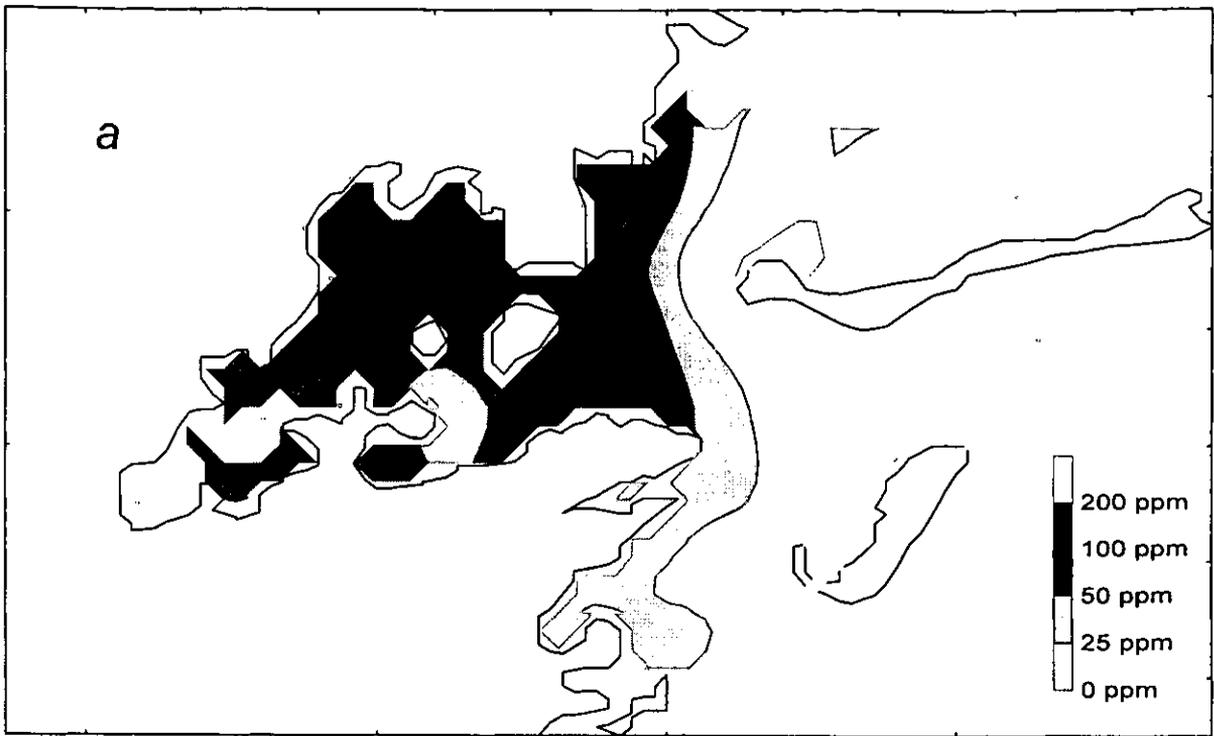


Fig. 5.13.- Distribucion de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del cobre.

Al calcular los factores de enriquecimiento, empleando aluminio como elemento conservativo (Buat-Ménard, 1979), se observa un patrón de distribución (Fig. 5.13b), similar al de la concentración total de cobre; siendo los máximos valores aquellos de las estaciones Gy4, Gy17, Gy18, Gy24 y Gy25 ($FE_{Al} = 2.9, 2.6, 4.6, 3.7$ y 2.9 , respectivamente), los cuatro últimos asociados a la actividad portuaria (muelles), y a la planta cementera de CEMEX. Además, las estaciones Gy18 y Gy24, presentaron valores de la concentración total de Cu en los sedimentos, superiores a los esperados (Fig. 5.14a), según el procedimiento de normalización propuesto por Szefer *et al.* (1996).

En promedio se observó un factor de enriquecimiento cercano a la unidad ($FE_{Al} = 1.1 \pm 1.0$); además, los índices de geoacumulación ($I_{geo} = -1.5 \pm 2.0$) sugieren que este cuerpo de agua no está contaminado con Cu, de acuerdo a la clasificación propuesta por Müller (1979).

El porcentaje de cobre correspondiente a la fracción biodisponible varió entre 23.6 y 88.4 %, promediando 48.8 ± 14.2 %. Aún cuando el máximo valor se presentó en la estación Gy49, en la boca oriente (Fig. 5.14b), en general, las mayores proporciones se presentaron en la laguna interior (Gy7, Gy8 y Gy10), asociadas con sedimentos constituidos con más del 95 % de fracción fina (limos y arcillas).

Esta proporción se correlacionó significativamente con el porcentaje de illita en los sedimentos, sugiriendo que dicho mineral arcilloso interviene en la forma como el Cu esté adsorbido en las partículas sedimentarias.

Hierro

El valor promedio de la concentración de hierro en los sedimentos fue de $2.3 \pm 0.9\%$, con un intervalo entre 0.8 y 3.6%. Los máximos valores de Fe se presentaron en las estaciones Gy4, Gy8, Gy10, Gy13 y Gy25 (Fig. 15a). Las cuatro primeras se ubican

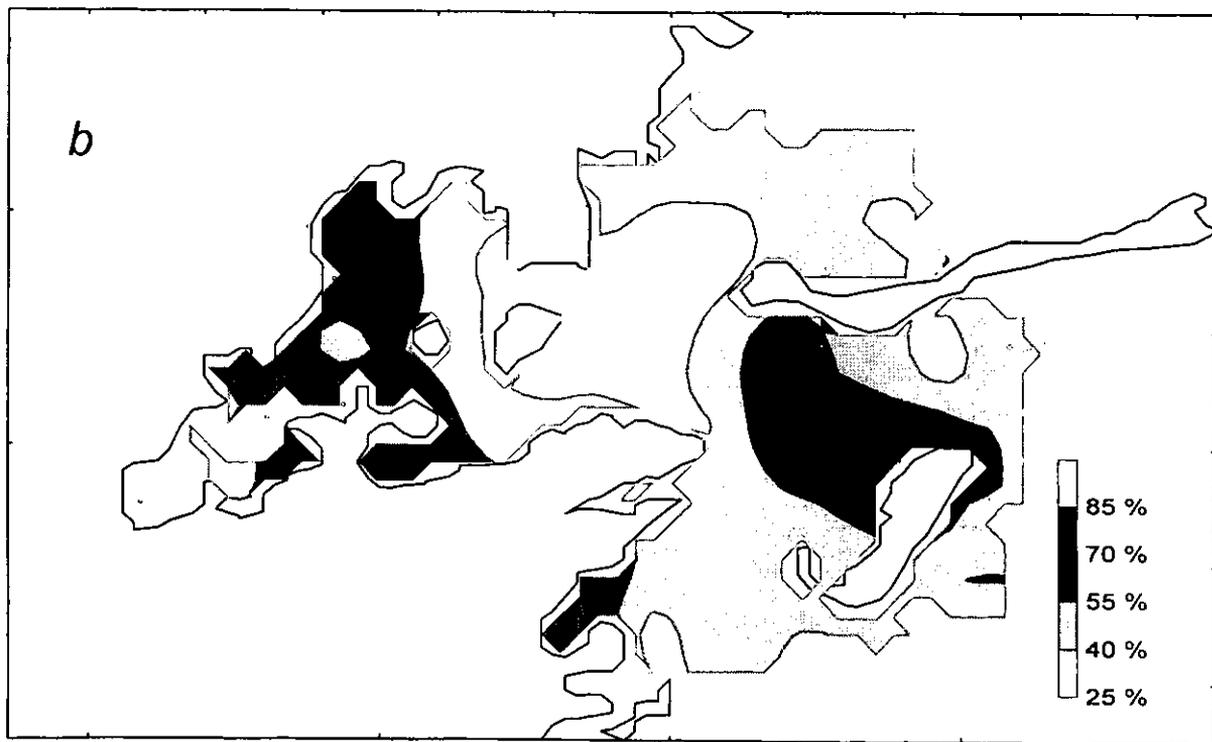
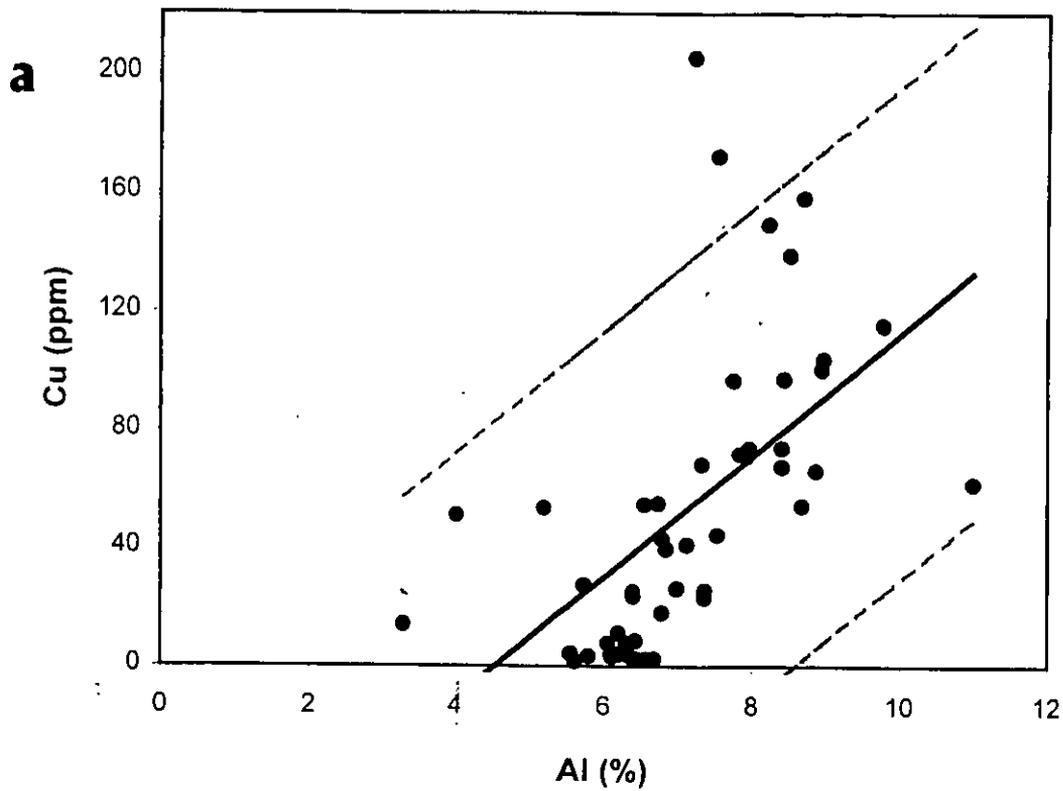


Fig. 5.14- a) Concentración de cobre contra aluminio y b) distribución de la proporción biodisponible de cobre, respecto a la concentración total.

en la laguna interior ($2.9 \pm 0.8\%$); y la última en la zona de transición ($2.5 \pm 0.7\%$), cerca del muelle de PEMEX. Los porcentajes de la boca oriente fueron significativamente más bajas (1.2 ± 0.2).

Este metal fue el que presentó mayores coeficientes de correlación con el contenido de sedimento fino ($r= 0.92$) y con Al ($r= 0.72$), evidenciando la asociación entre los óxidos de hierro y algunos minerales silicoaluminatos, así como la capacidad de adsorción del material fino (Horowitz, 1991).

Los valores bajos para los factores de enriquecimiento ($FE_{Al}= 0.6 \pm 0.2$), muestran que a lo largo de este cuerpo de agua existe una dilución de este metal conforme el ambiente se vuelve más marino (Fig. 5.15b). Asimismo, al realizar la normalización sugerida por Szefer *et al.* (1996), se observa que, dada la buena correlación entre el Fe y el Al, no se presentaron anomalías en las concentraciones de este metal (Fig. 5.16).

Como era de esperarse, dado la dilución presentada, al calcular los índices de geoacumulación y emplear la clasificación de Müller (1979), se concluye que la Bahía de Guaymas no está contaminada con Fe ($I_{geo}= -1.7 \pm 0.7$).

El promedio de la proporción biodisponible de Fe en los sedimentos de este cuerpo lagunar fue de $10.8 \pm 7.1 \%$, oscilando entre 5.1 y 42.2 %. Los mayores porcentajes se presentaron en la boca oriente, disminuyendo hacia la zona de transición y la laguna interior (Fig. 5.17). Este comportamiento es el resultado a la correlación significativa entre el hierro biodisponible y el contenido de carbonatos ($r= 0.57$) y su asociación inversa con los sedimentos finos ($r= -0.85$) y el carbono orgánico ($r= -0.61$).

Visto desde otra perspectiva, lo anterior significa que entre más cantidad de limos y arcillas contenga el sedimento, mayor es la cantidad de Fe que está asociado a las fracciones no consideradas como biodisponibles, e.g. a la porción litogénica, principal fuente de este elemento, lo cual se corrobora con la correlación inversa entre el Fe total y su correspondiente biodisponible ($r= -0.86$).

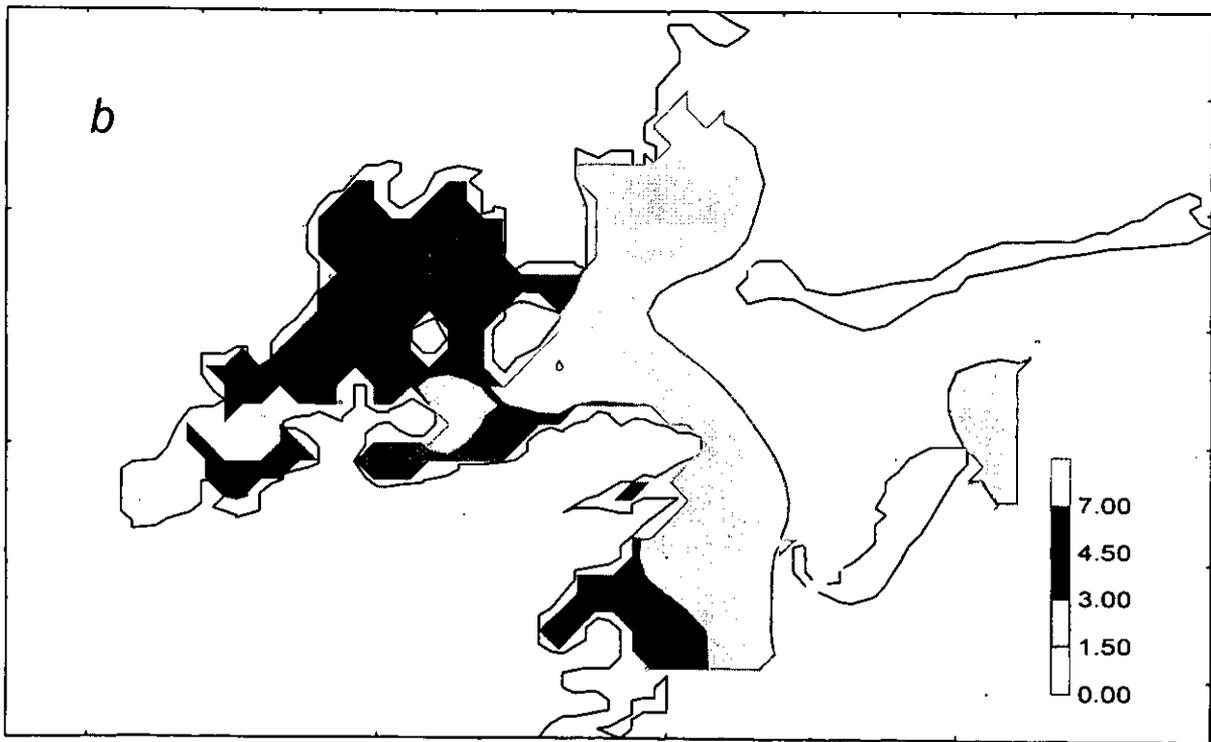
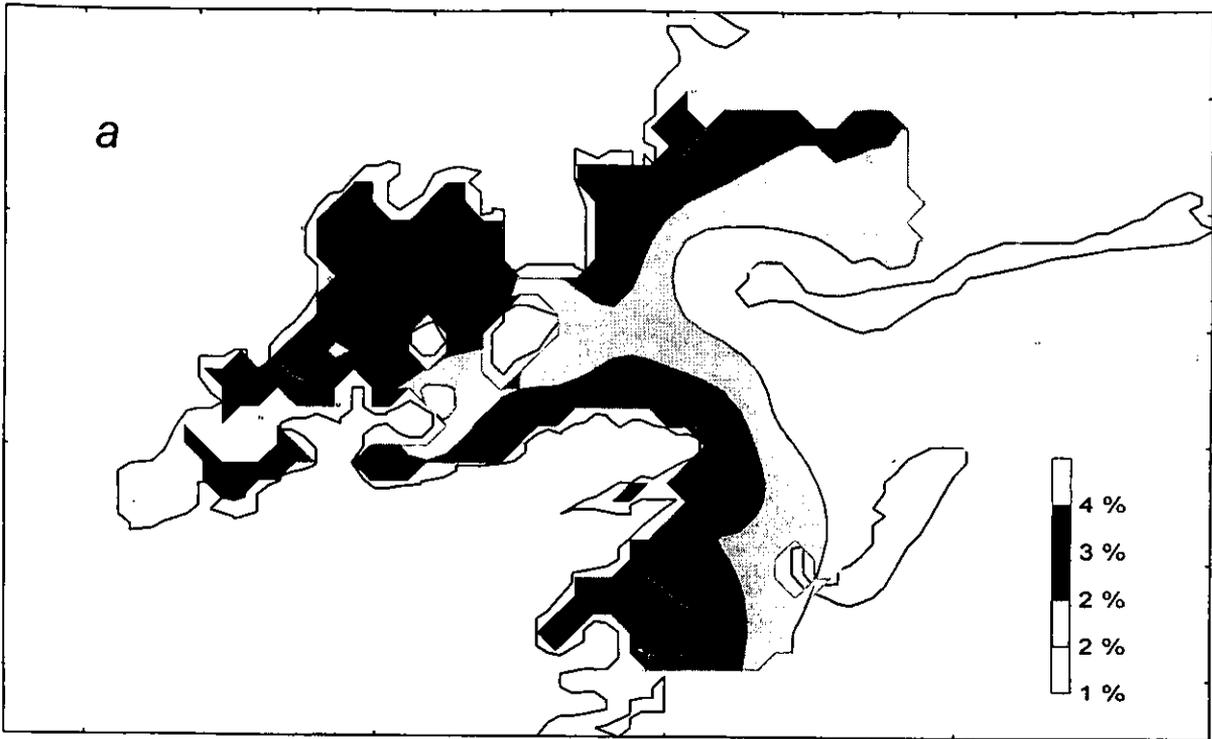


Fig. 5.15.- Distribución de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del hierro.

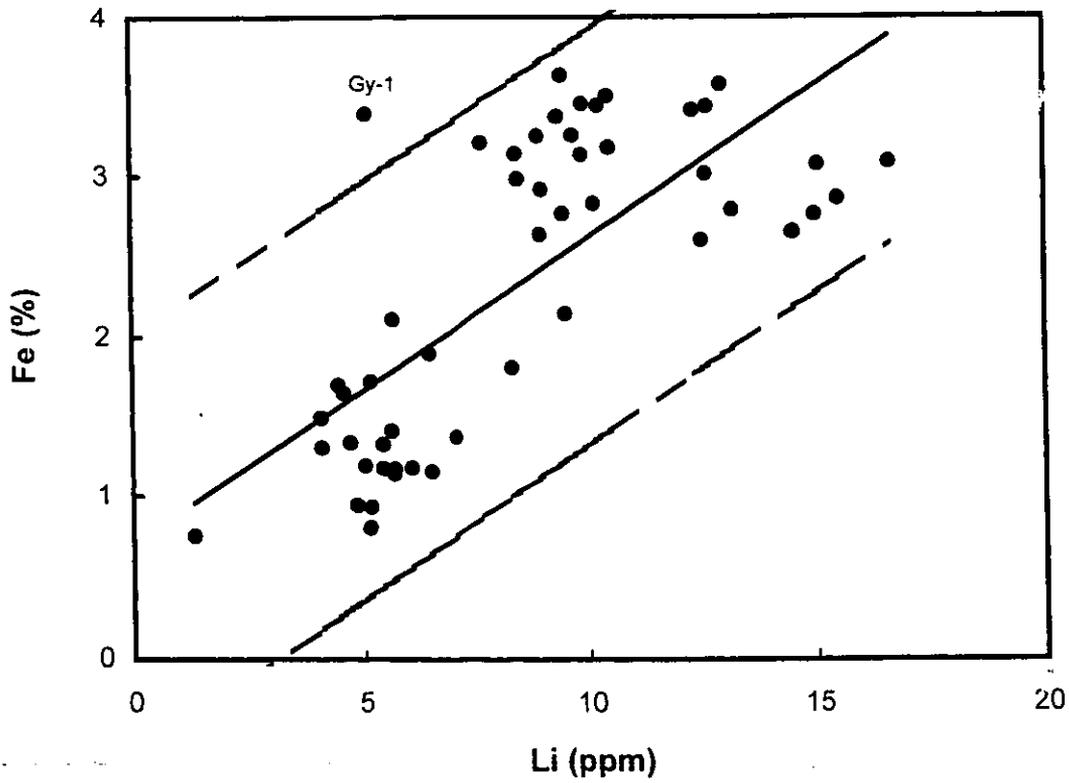
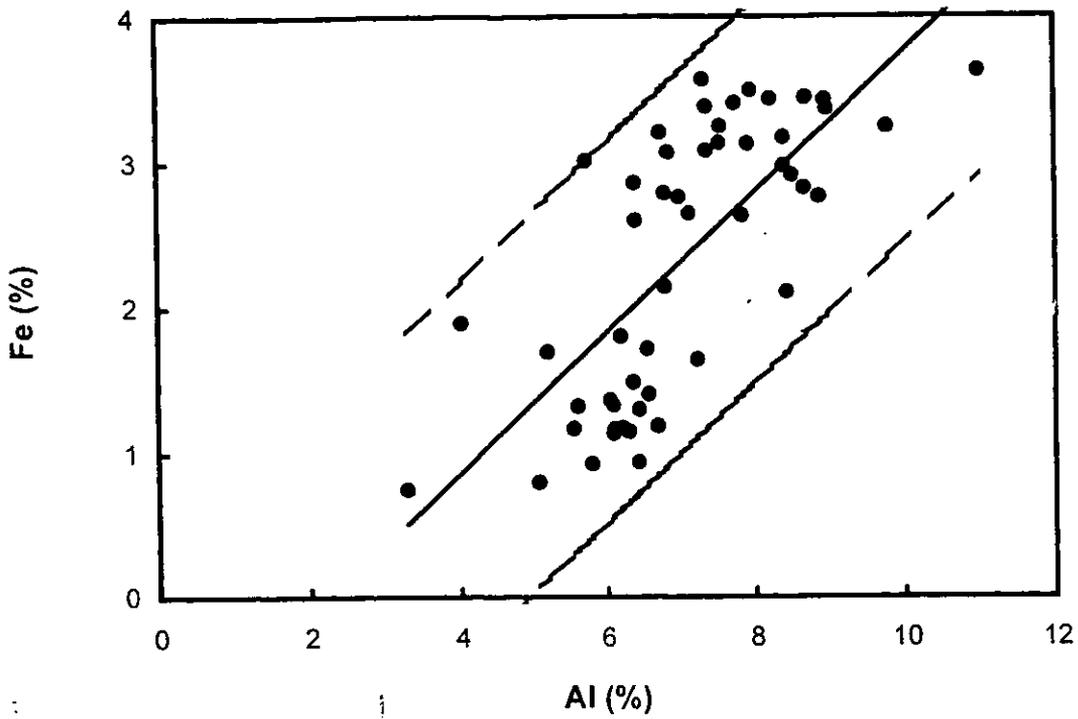


Fig.5.16 Concentración de Fe contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

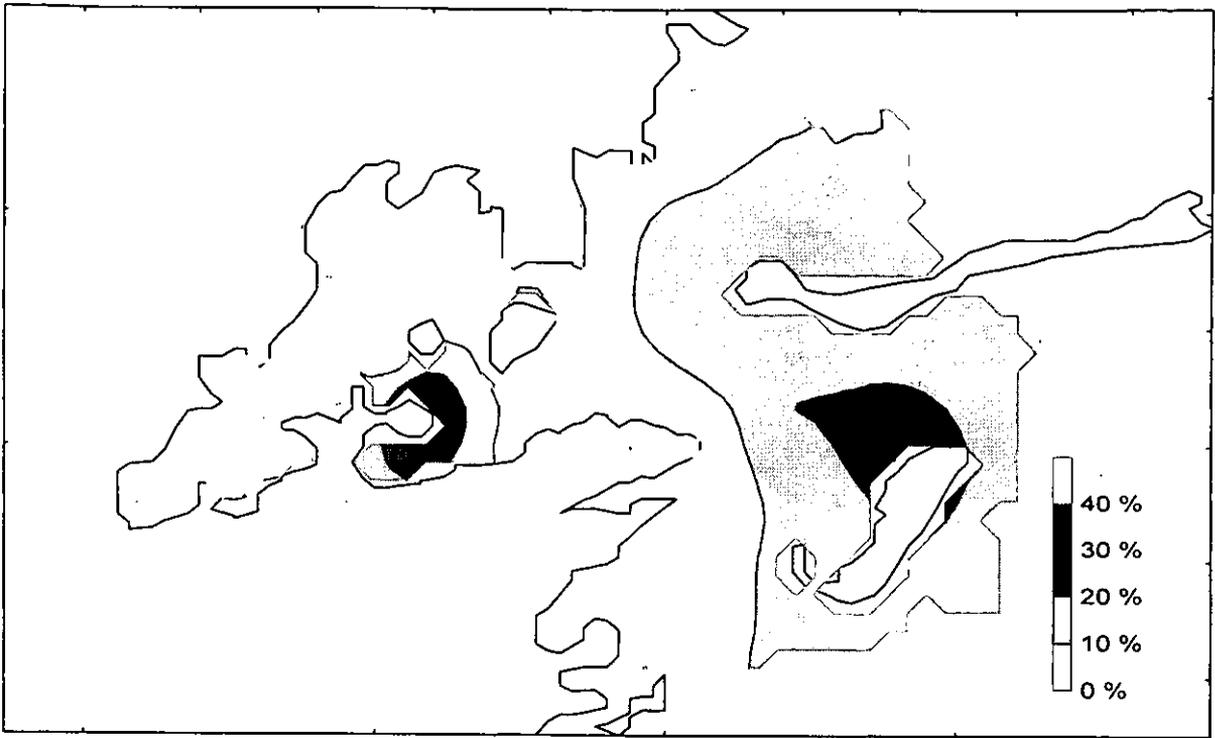


Fig. 5.17- Distribucion de la proporción de hierro biodisponible

Litio

A diferencia de la mayoría de los metales estudiados, los altos contenidos de litio se presentaron en la zona de transición (10.5 ± 3.7 ppm) en la boca sur (Fig. 5.18), posiblemente debido al aporte terrígeno de este elemento desde los cerros circundantes; seguidos de los correspondientes a la laguna interior (806 ± 3.1 ppm), donde incluso se presentaron algunos valores bajos (Gy12, Gy18 y Gy19); mientras que los menores niveles se hallaron en la boca oriente (5.4 ± 1.1). Por otra parte, si consideramos el sistema lagunar completo, los valores oscilaron entre 1.3 y 16.6 ppm, con un promedio de 8.5 ± 3.6 ppm.

La concentración de Li en los sedimentos se correlacionó significativamente ($P < 0.01$) con los sedimentos finos ($r = 0.76$), el carbono orgánico ($r = 0.40$) y con los otros metales, a excepción de Cu y Pb. También se correlacionó, pero en forma inversa con los carbonatos ($r = -0.41$), dado el efecto dilutor que estos producen. Asimismo, el litio se correlacionó con menor nivel de significancia ($p < 0.05$), con la caolinita, dado la capacidad directa o indirecta de este metal para adsorber metales, en este caso Li (Jenne, 1976; Horowitz y Elrick, 1987).

De acuerdo al criterio de normalización de Szefer *et al.* (1996) (Fig. 5.19), se observaron concentraciones anómalas en las estaciones Gy31, Gy 36 y Gy37, todas localizadas en la boca sur. Asimismo, analizando el patrón de distribución de la concentración total de Li, se puede observar una tendencia a que los contenidos de dicho elemento se diluyen a partir de la boca sur (zona de transición), hacia la parte media de la laguna interior y hacia la boca oriente tal como lo hace.

Manganeso

El contenido promedio de manganeso en los sedimentos superficiales de la Bahía de Guaymas fue de 257 ± 83 ppm, con un máximo de 386 y un mínimo de 90 ppm. La

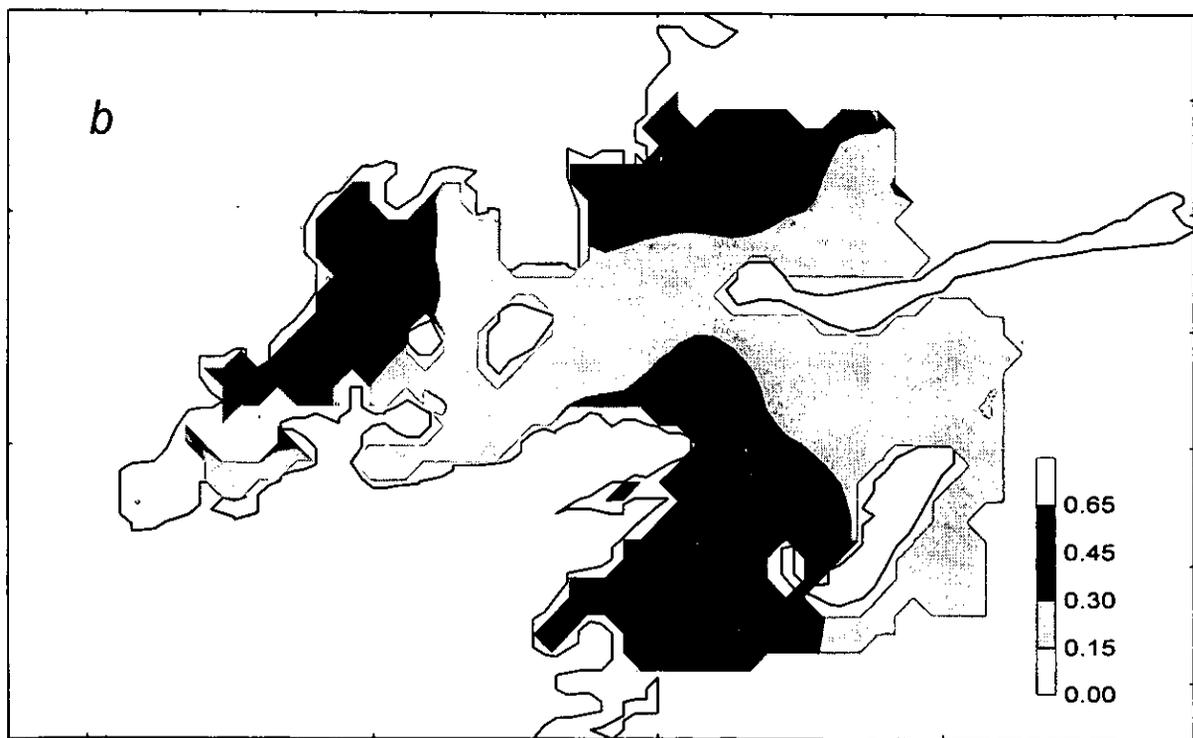
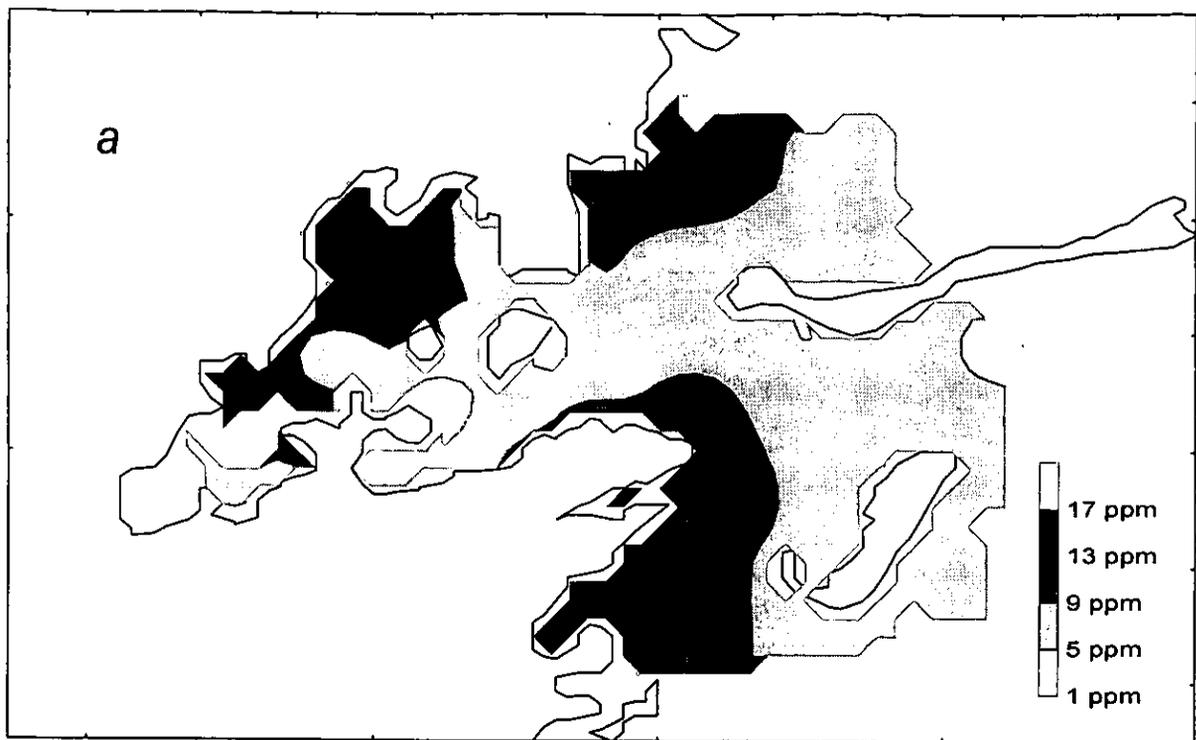


Fig. 5.18.- Distribucion de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del litio.

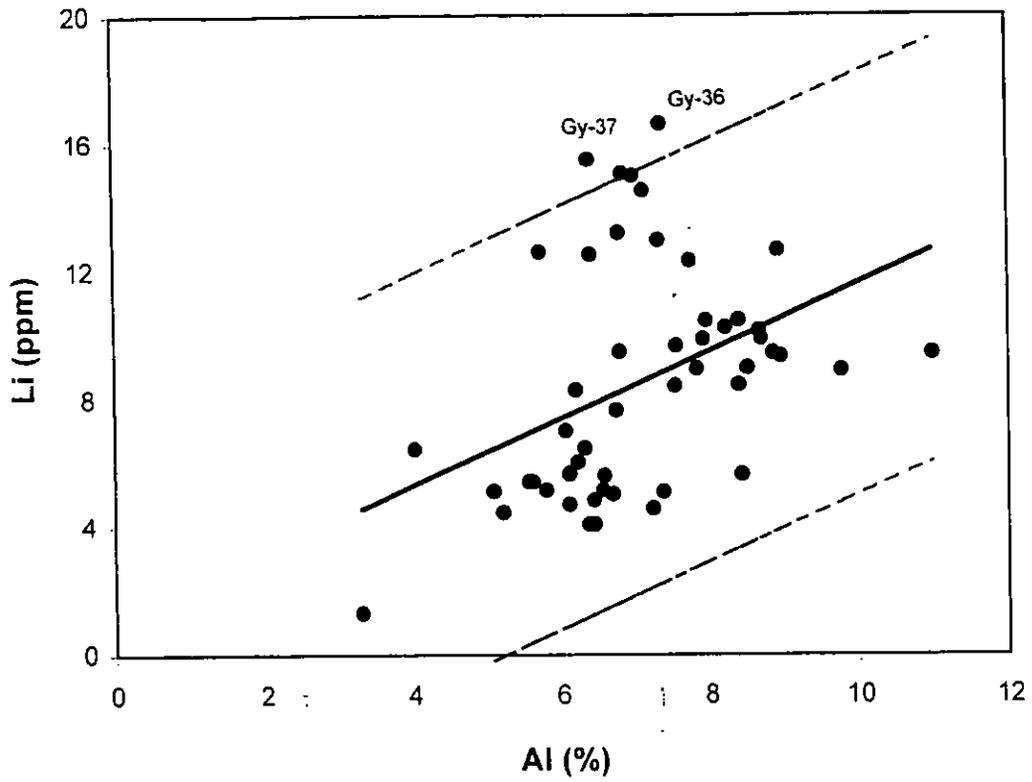


Fig. 5.19 Concentración de Li contra Al. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

distribución espacial de este metal fue relativamente homogénea en la laguna interior (293 ± 66 ppm) y en la zona de transición (282 ± 75 ppm), en tanto que los valores disminuyeron significativamente en la boca oriente (170 ± 49 ppm) (Fig. 5.20a). Las estaciones con mayor concentración de Mn (Gy16, Gy19, Gy23, Gy24 y Gy30) están asociados a sedimentos finos ($r= 0.79$) y valores intermedios a altos de carbono orgánico ($r= 0.50$). Asimismo, las concentraciones de manganeso se correlacionaron significativamente con los otros metales estudiados, como resultado de la capacidad de los óxidos de Mn para atraer y adsorber dichos elementos.

Los factores de enriquecimiento de manganeso son menores a la unidad ($FE_{Al}= 0.3 \pm 0.1$), lo que indica que existe una dilución de este metal, la cual se observa desde la laguna interior hacia las bocas, evidenciando el origen continental del Mn (Fig. 5.20b).

En cuanto a la estrategia de normalización sugerida por Szefer *et al.* (1996), sólo la estación Gy19 presentó un valor por arriba del esperado (Fig. 5.21). Esta estación se caracteriza por tener una alta concentración de carbonatos en los sedimentos (40.7 %), la cual puede estar diluyendo considerablemente el contenido de aluminio (5.2 %).

Los valores del índice de geoacumulación calculados para los sedimentos de la Bahía de Guaymas ($I_{geo}= -2.6 \pm 0.5$), indican que dicho cuerpo de agua no está contaminado con Mn de acuerdo a la clasificación de Müller (1979).

Níquel

Los niveles de níquel en los sedimentos superficiales variaron entre 23.4 y 64.9 ppm, con un promedio de 40.8 ± 9.5 ppm. Las concentraciones más altas de Ni se observaron en la laguna interior (45.9 ± 5.5 ppm), en las estaciones Gy6, Gy8 y Gy13; y en la zona de transición (43.9 ± 8.5 ppm), en las estaciones Gy26 y Gy27 (Fig. 5.22a). Todas ellas relacionadas con altos porcentajes de sedimento fino ($r= 0.90$), y/o de carbono orgánico ($r= 0.63$).

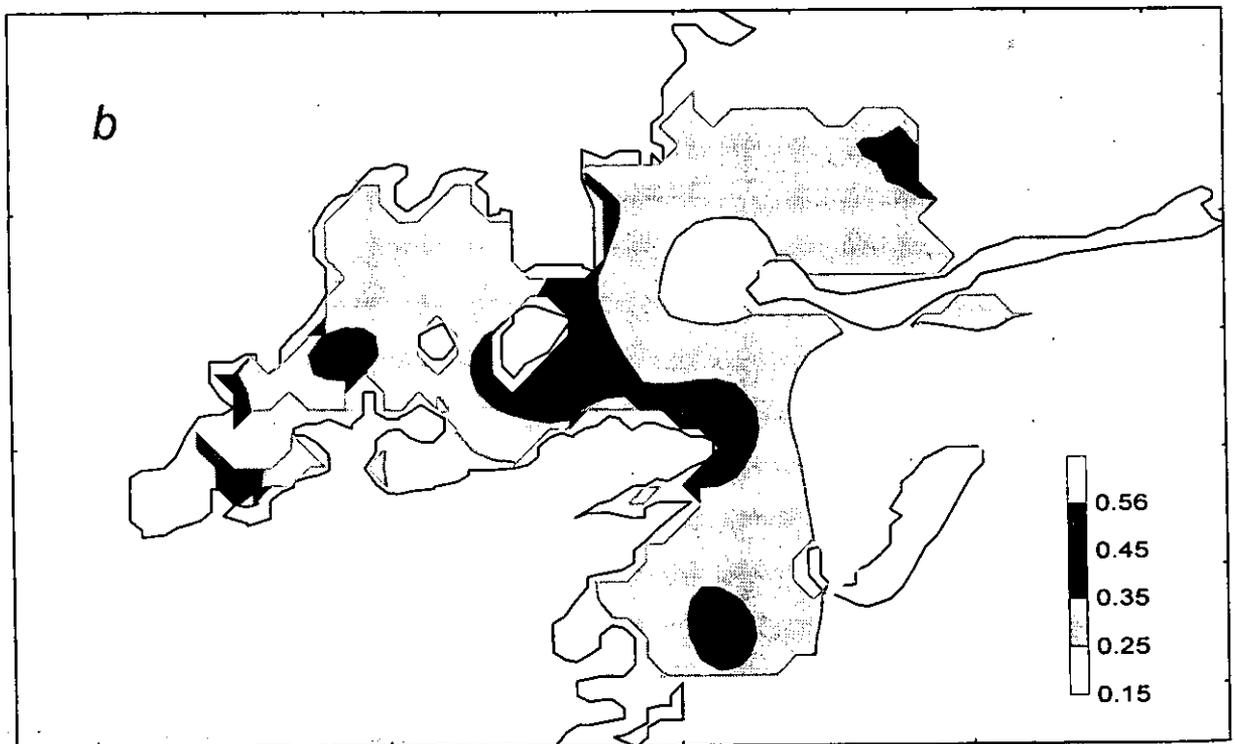
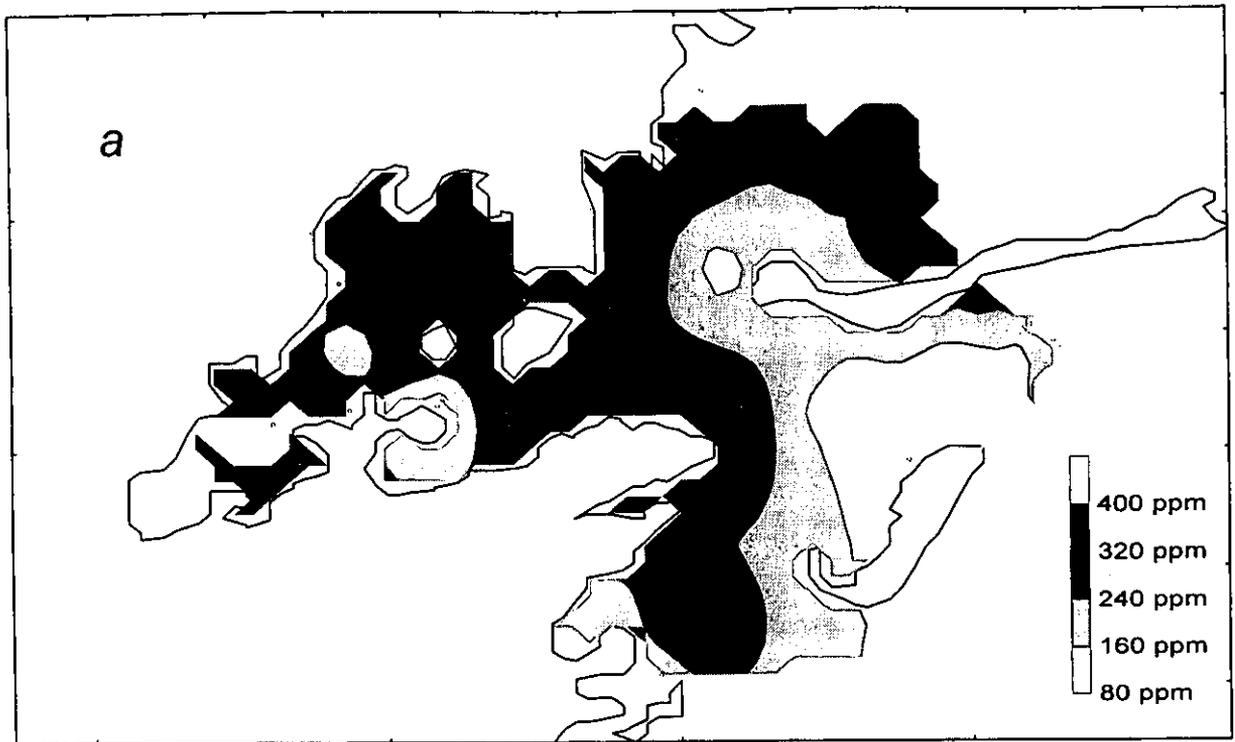


Fig. 5.20.- Distribucion de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del manganeso.

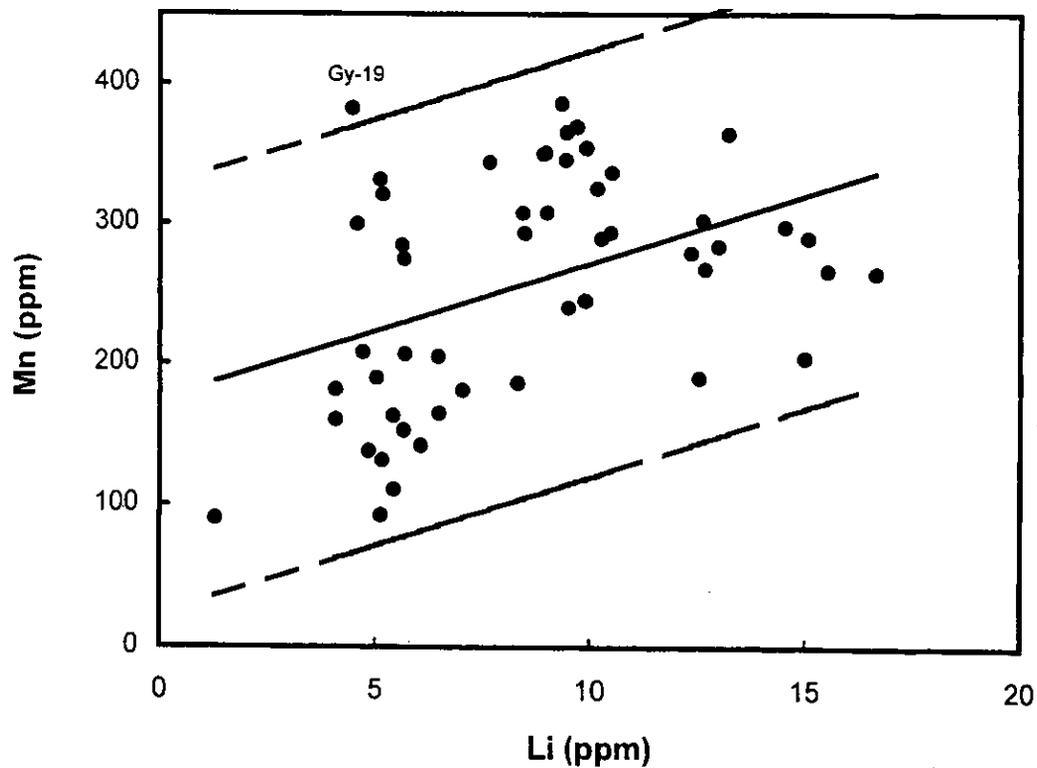
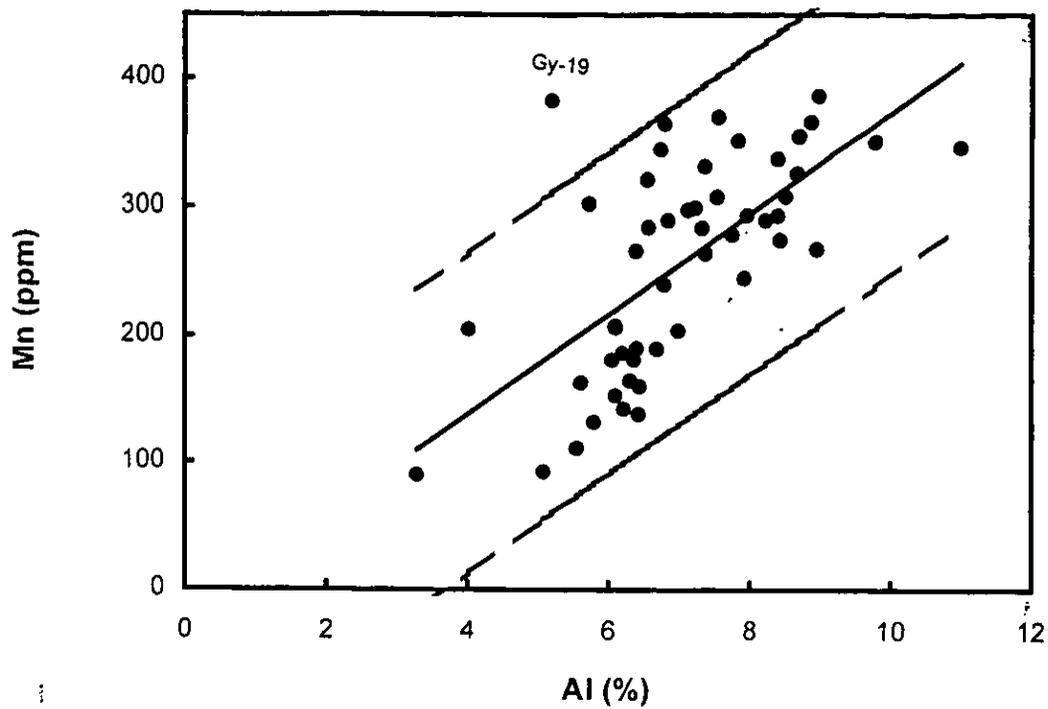


Fig. 5.21 Concentración de Mn contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).



Fig. 5.22.- Distribucion de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del níquel.

El contenido de Ni fue el que obtuvo mayor coeficiente de correlación con el Fe ($r=0.90$), sugiriendo la dominancia de los óxidos de hierro y manganeso ($r= 0.70$) en los procesos geoquímicos del níquel. Las buenas correlaciones con los otros metales indican una fuente de aporte común.

Los factores de enriquecimiento de Ni ($FE_{AI}= 0.6 \pm 0.1$) indican que existe una dilución desde la laguna interna hacia las bocas, principalmente la boca oriente (Fig. 5.22b), mientras que, de acuerdo con el criterio de normalización de Szefer *et al.* (1996), existe una anomalía en la estación Gy26, en la Bahía de Empalme, adyacente a la Bahía de Guaymas (Fig. 5.23).

Es posible que una ruta de aporte de Ni al área de estudio sea por la Bahía de Empalme, donde se presentan los máximos valores, sin embargo, este aporte no se refleja en la estación Gy28, que se ubica en el canal de comunicación entre las bahías, debido a sus características granulométricas (11 % de sedimento fino), que no son afines para la adsorción de metales (Horowitz, 1991).

En general, los valores del índice de geoacumulación (Müller, 1979) calculados para esta zona de estudio ($I_{geo}= -1.5 \pm 0.4$), sugieren que no existe contaminación de los sedimentos por níquel.

Plomo

La concentración de Pb en los sedimentos osciló entre 28.1 y 194.3 ppm, con un promedio de 66.2 ± 34.1 ppm, existiendo una diferencia significativa entre la laguna interior (98.2 ± 37.1 ppm), con respecto a la zona de transición (52.4 ± 15.8 ppm) y la boca oriente (43.1 ± 7.9 ppm). Lo anterior, debido a que la laguna interior está en contacto con la ciudad de Guaymas, de donde al parecer, proviene este metal (Fig. 5.24).

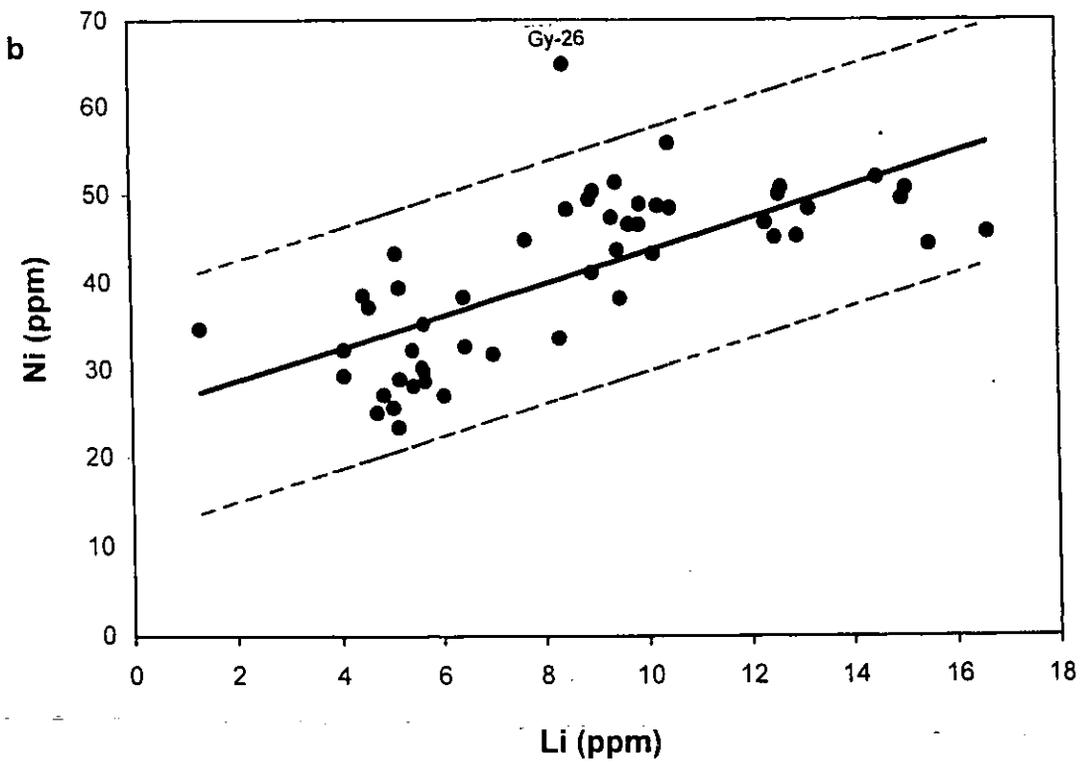
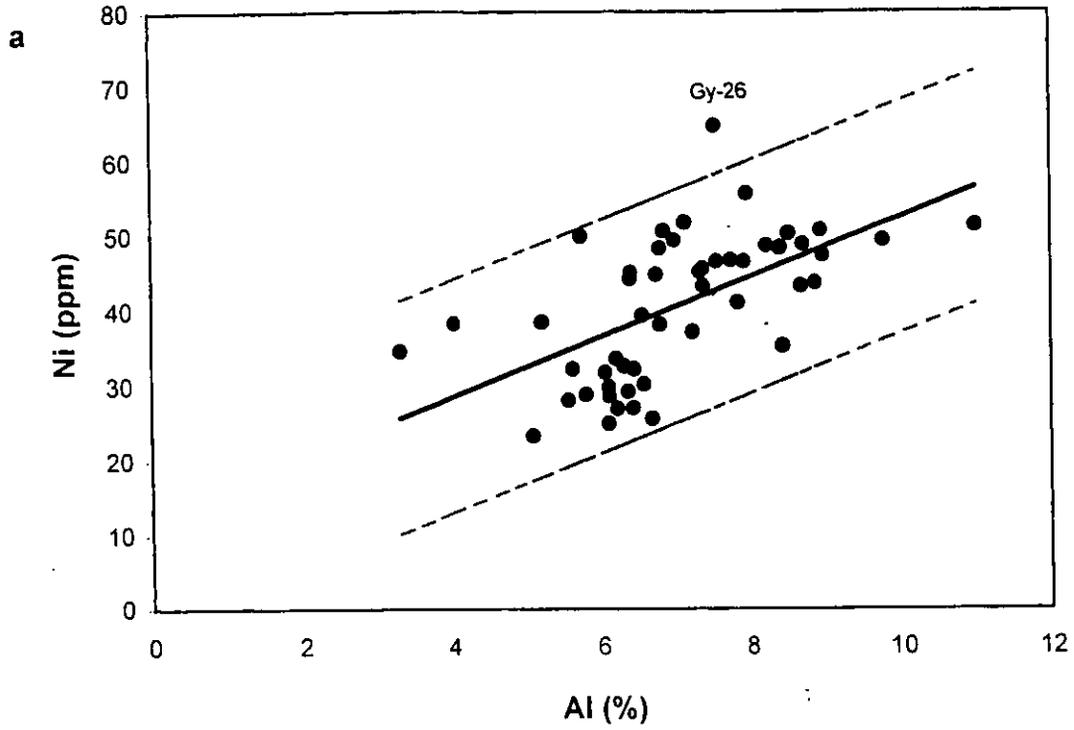


Fig. 5.23 Concentración de Ni contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

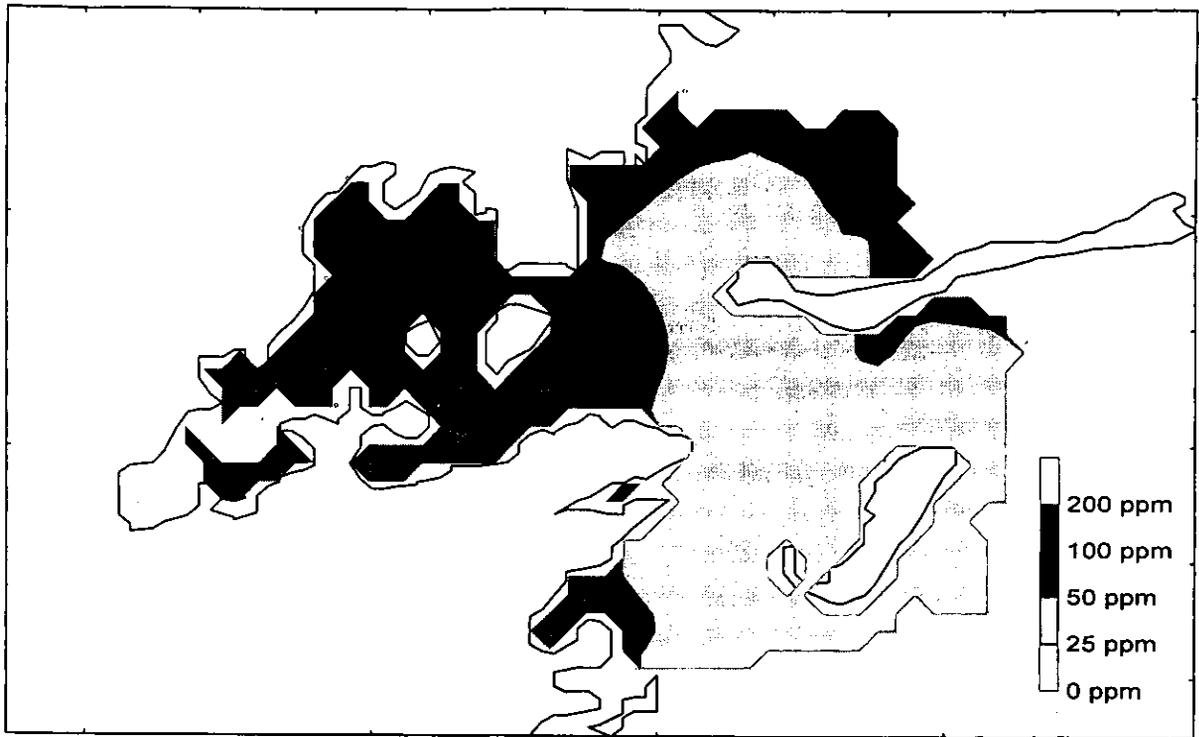


Fig. 5.24.- Distribucion de concentración total de plomo.

Aunque estadísticamente significativos, los coeficientes de correlación de la concentración de Pb con el contenido de sedimento fino ($r = 0.48$) y Al ($r = 0.36$), son relativamente bajas. Además, este metal no se correlacionó con litio, lo que sugiere fuentes de aporte adicionales a la correspondiente a la litológica. Las estaciones más cercanas a la ciudad (Gy7 y Gy8), mostraron concentraciones de plomo mayores a las esperadas (Fig. 5.25a), según el proceso de normalización propuesto por Szefer *et al.* (1996).

Los valores de la proporción de plomo potencialmente biodisponible variaron entre 9.8 y 96.2 %, presentando un promedio de 51.6 ± 20.1 %. Los máximos niveles se detectaron en la laguna interior y en la zona de transición (estaciones Gy11, Gy20, Gy30, Gy33 y Gy37) (Fig. 5.25b), relacionadas con porcentajes mayores al 90 % de sedimento fino ($r = 0.76$).

Asimismo, el Pb biodisponible se correlacionó significativamente con el carbono orgánico ($r = 0.49$) y el Fe total ($r = 0.65$), sugiriendo que tanto el material orgánico, como los óxidos de hierro, intervienen en gran medida en el fraccionamiento geoquímico del plomo.

Zinc

El valor promedio de la concentración de zinc en los sedimentos de la Bahía de Guaymas fue de 162.8 ± 136.5 ppm, con un intervalo entre 303 y 583.8 ppm. La distribución espacial de este metal, se caracterizó por una marcada diferencia significativa entre los promedios obtenidos en cada una de las tres regiones anteriormente definidas (Fig. 5.26a), de modo tal que, los máximos contenidos de Zn en los sedimentos se observaron en la laguna interior (292.8 ± 144.1 ppm), los intermedios se localizaron en la zona de transición (123.0 ± 55.4 ppm), y los más pequeños en la boca oriente (44.1 ± 9.2 ppm). Esta distribución está regida principalmente por la concentración de carbono orgánico ($r = 0.82$), la presencia de óxidos de hierro ($r = 0.71$) y la cantidad de sedimentos finos presentes ($r = 0.68$).

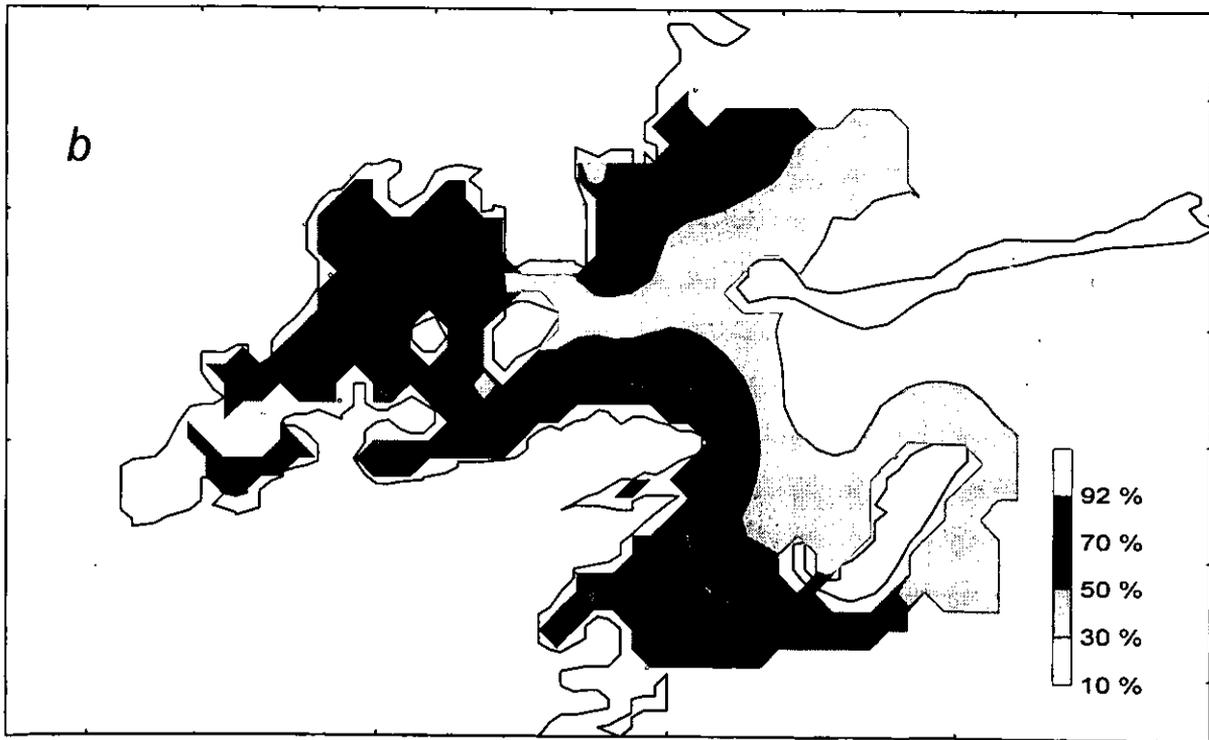
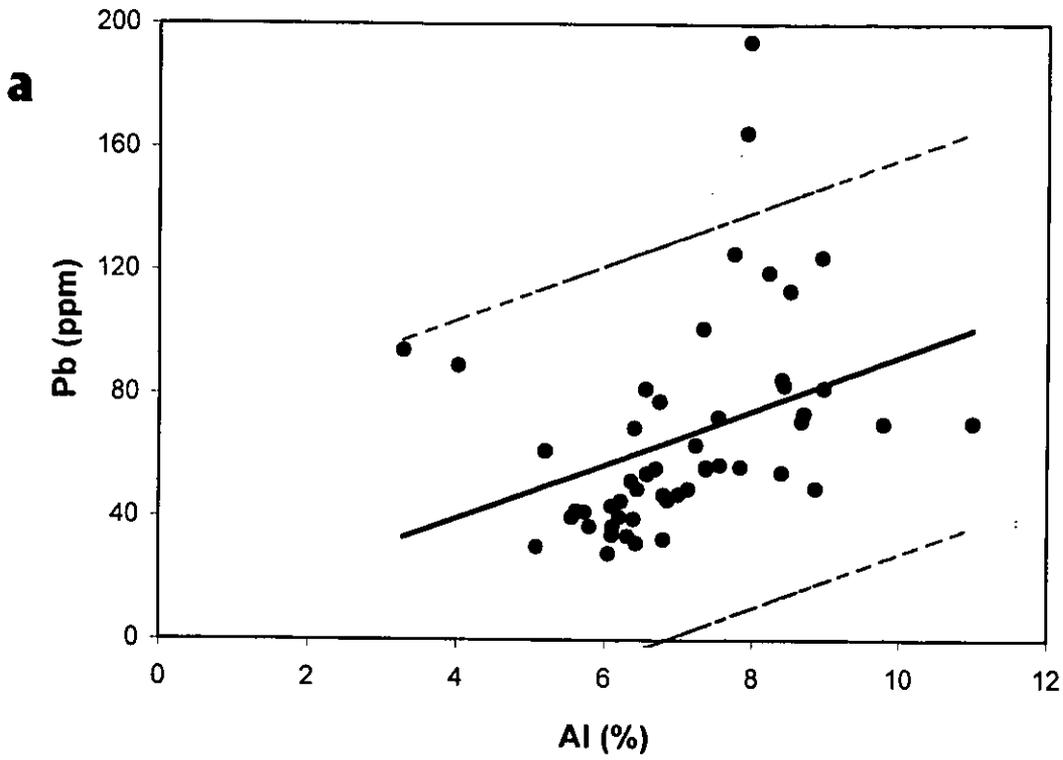


Fig. 5.25- a) Concentración de plomo contra aluminio y b) distribución de la proporción de plomo biodisponible.



Fig. 5.26.- Distribucion de a) concentración total y b) factor de enriquecimiento del zinc.

El contenido de zinc se correlacionó con un nivel de significancia del 95 % ($p < 0.05$) con la abundancia relativa de la illita, como resultado de la capacidad directa e indirecta de este mineral arcilloso de adsorber los metales (Jenne, 1976); y, en forma inversa, con el porcentaje de carbonatos en los sedimentos, dado el efecto dilutor que producen estos últimos. Asimismo, el contenido de Zn en los sedimentos de la Bahía de Guaymas se correlacionó con mayor nivel de significancia ($p < 0.01$) con los otros elementos estudiados, sugiriendo que, en general, existe un aporte desde fuentes comunes y/o que los procesos geoquímicos que gobiernan el comportamiento de estos metales son similares.

Los valores correspondientes a los factores de enriquecimiento de zinc en los sedimentos superficiales, empleando Al como elemento conservativo (Buat-Ménard, 1979), presentaron un promedio de 2.2 ± 1.7 , alcanzando niveles de 7.4, en la laguna interior (Fig. 5.26b), mientras que la boca oriente se observó una dilución, con un factor de enriquecimiento mínimo de 0.56.

Por otro lado, el proceso de normalización (Szefer *et al.* 1996), mostró que las estaciones Gy8, frente a la ciudad de Guaymas, y Gy17, adyacente a la zona naval y cerca de los astilleros, presentaron valores enriquecidos de Zn (Fig. 5.27).

Aún cuando el valor promedio del índice de geoacumulación ($I_{geo} = -0.0 \pm 1.2$) de zinc en el material sedimentario globalmente sugiere que este cuerpo lagunar no está contaminado con zinc (Müller, 1979), cabe mencionar que en la laguna interior se presentan valores mayores a 2 (moderada a fuertemente contaminada), precisamente en las estaciones Gy8 y Gy17; entre 1 y 2 (moderadamente contaminada) en las estaciones (Gy6, Gy7, Gy9, Gy10, Gy11 y Gy16), todas ellas localizadas en la zona más cercana a la ciudad.

La proporción de biodisponibilidad del Zn en los sedimentos superficiales, respecto de su concentración total, fue en promedio de 18.8 ± 6.2 %, con un máximo de 30.5 y un

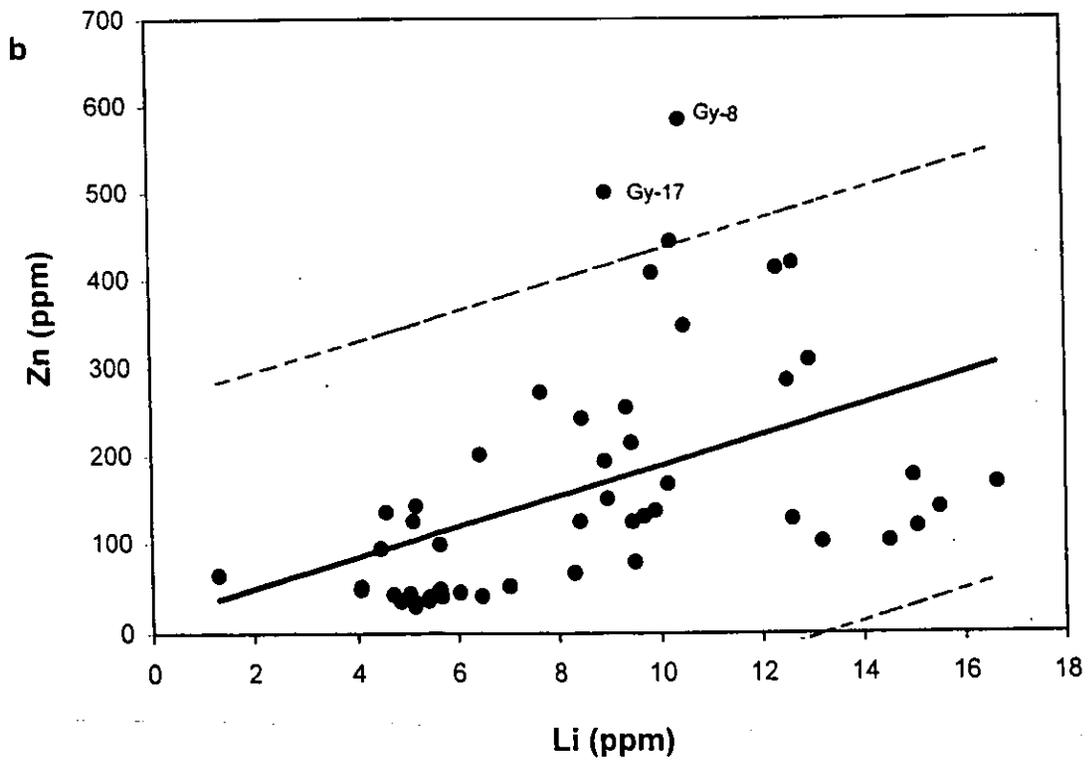
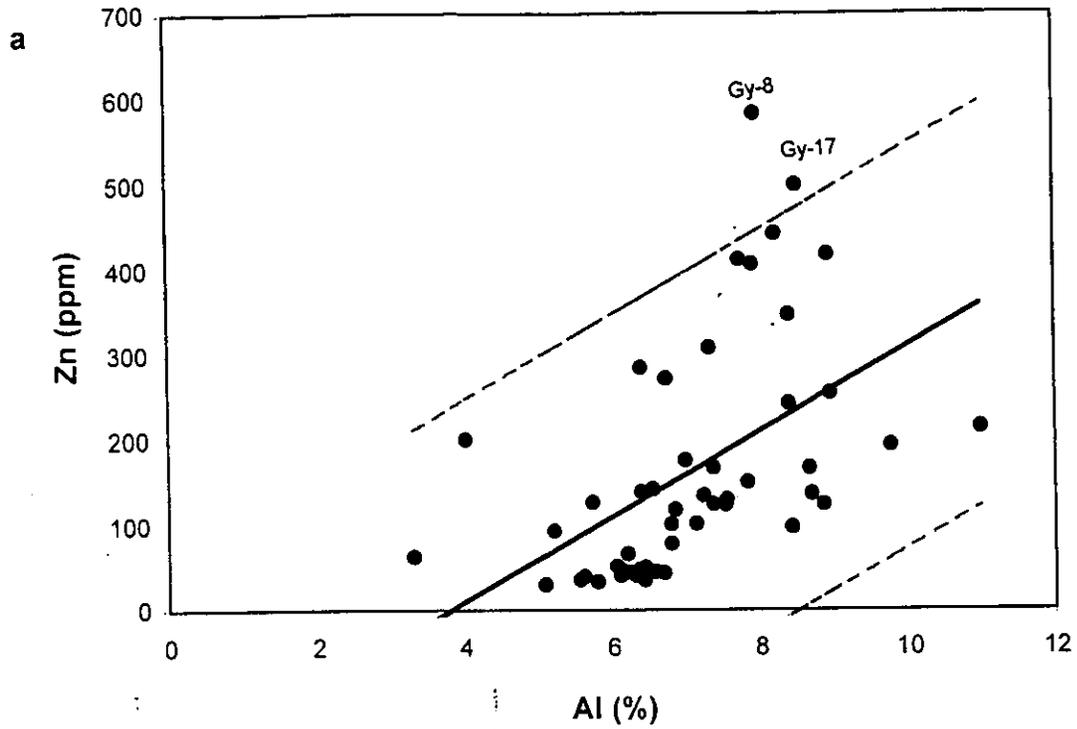


Fig. 5.27 Concentración de Zn contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

mínimo de 8.6 %. El comportamiento de esta fracción, fue similar al mostrado por el Fe biodisponible, con los porcentajes más altos en la zona de transición (estaciones Gy31, Gy35, Gy37 y Gy38) (Fig. 5.28), asociadas a sedimentos con más del 90 % de finos, y en la boca oriente (estación Gy41), con bajo contenido de sedimento fino y de zinc total ($r = -0.45$).

5.3.3.2 Distribución vertical de los elementos en los sedimentos del Núcleo GYN

Los perfiles verticales de los parámetros determinados en los sedimentos de la Bahía de Guaymas se presentan en la figura 5.29. Las concentraciones totales promedio, su desviación estándar, el máximo y mínimo valor de los contenidos de carbonatos, carbono orgánico y los metales de las secciones del núcleo GYN se presentan en la tabla 5.7, en tanto que los valores nominales se encuentran en el anexo XXVI. Los coeficientes de correlación de los parámetros analizados en las secciones del núcleo se muestran en la tabla 5.8.

Carbonatos

De acuerdo al comportamiento de la concentración de carbonatos en los sedimentos del núcleo GYN, el perfil vertical de este componente se puede dividir en dos paquetes de secciones, las más profundas, con mayor porcentaje, y, a partir de la sección 6-7 cm, el paquete superficial con valores de contenido de carbonatos más bajos. En ambos paquetes, las secciones se comportan casi constantes. El límite entre ambos grupos de secciones es una valor mínimo en la sección 7-8 cm.

Algunos autores (Burdige y Gieskes, 1983) sugieren la formación de minerales carbonatados en capas subsuperficiales en la denominada zona de equilibrio, por debajo de la zona de reducción, lo que propicia valores mas altos de contenido de carbonatos en la parte profunda de la columna sedimentaria, en relación con la superficial.

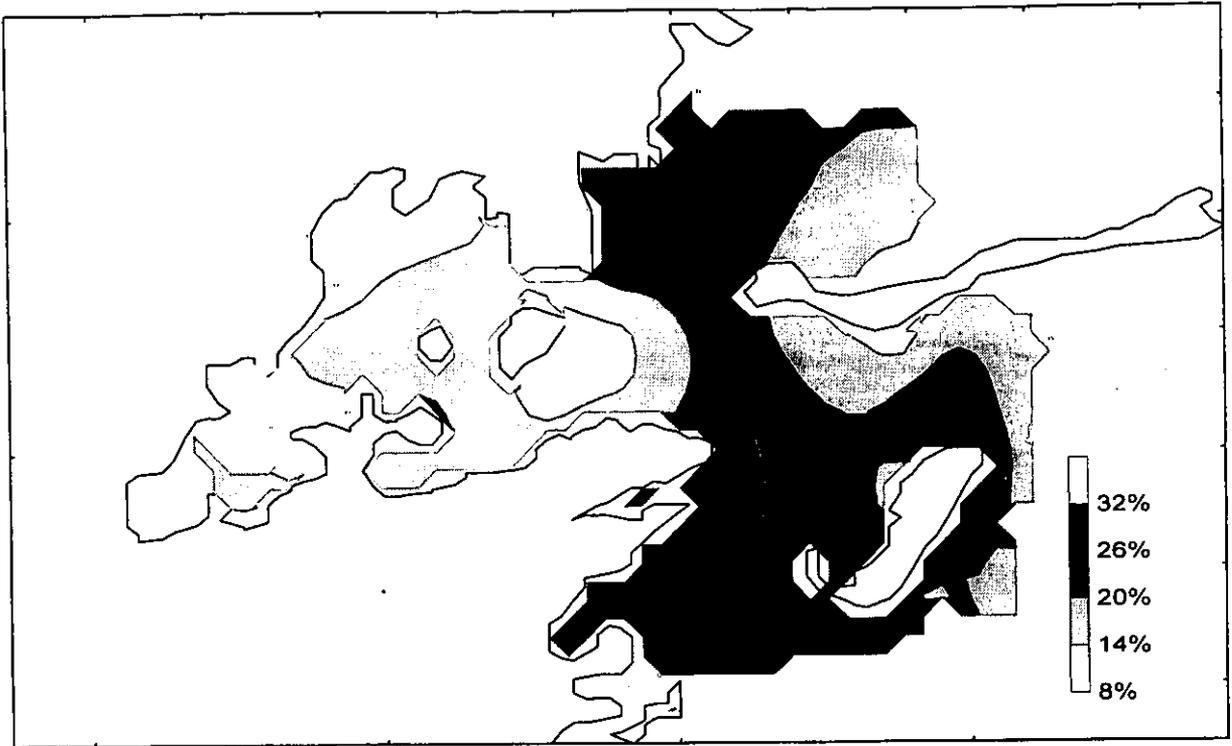


Fig. 5.28- Distribucion de la proporción biodisponible del zinc, respecto a la concentración total.

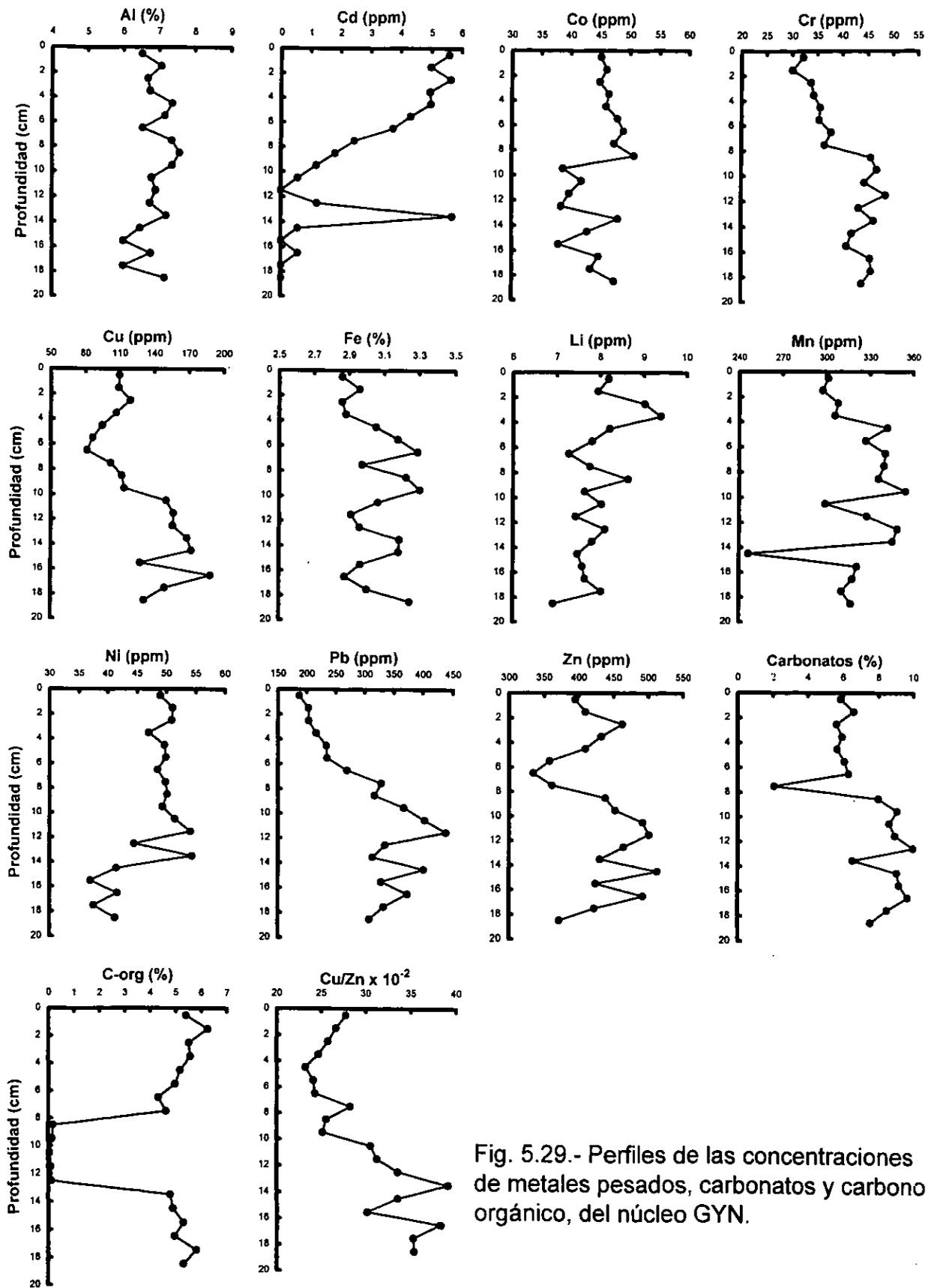


Fig. 5.29.- Perfiles de las concentraciones de metales pesados, carbonatos y carbono orgánico, del núcleo GYN.

Tabla 5.7.- Promedio, desviación estándar, máximo y mínimo de las concentraciones de carbonatos, carbono orgánico y metales totales, en sedimentos del núcleo GYN, Bahía de Guaymas.

	Promedio	Desv. están.	Máximo	Mínimo
Carbonatos (%)	7.3	2.0	10.0	2.1
C-orgánico (%)	3.9	2.3	6.3	0.1
Al (%)	6.9	0.4	7.6	6.0
Cd (ppm)	3.2	2.1	5.7	Nd
Co (ppm)	44.5	3.8	50.7	37.8
Cr (ppm)	40.4	5.7	48.6	30.1
Cu (ppm)	128	31	189	81
Fe (%)	3.1	0.2	3.3	2.9
Li (ppm)	7.9	0.6	9.4	6.9
Mn (ppm)	320	25	355	247
Ni (ppm)	47.3	5.2	54.4	36.9
Pb (ppm)	305	75	438	187
Zn (ppm)	430	51	513	334

Nd = No detectable.

Carbono orgánico

Las concentraciones de carbono orgánico en los sedimentos del núcleo GYN mostraron un promedio de 3.9 ± 2.3 %, oscilando entre 6.3 y 0.1 %. En el perfil correspondiente al carbono orgánico se observa una ligera disminución desde la superficie (> 5%) hacia el fondo, hasta la sección 7-8 cm (> 4 %), a partir de la cual, la concentración de carbono orgánico en los sedimentos disminuye drásticamente a valores menores a la unidad

hasta la capa de 12-13 cm, donde presenta un ascenso del contenido, llegando a tener nuevamente valores alrededor de 5 %.

Tabla 5.8.- Matriz de coeficientes de correlación de los parámetros determinados en sedimentos del núcleo GYN en la Bahía de Guaymas. ($P < 0.01$).

	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Ni	Pb	Zn	Prof.
CO ₃ ⁻	-0.63	-0.62	0.67	0.64				0.60	0.65	0.61
C-org	0.66		-0.60					-0.60		
Al						0.46*	0.64			
Cd		0.49*	-0.70	-0.50*			0.57*	-0.90	-0.54*	-0.73
Co								-0.49*	-0.56*	
Cr				0.66				0.86	0.49*	0.81
Cu								0.68	0.76	0.71
Fe					-0.46*					
Li								-0.50*		-0.56*
Ni										-0.62
Pb									0.59	0.74

* $P < 0.05$

Aluminio

Las concentraciones de aluminio en la columna sedimentaria en el núcleo GYN, fueron prácticamente constantes a lo largo del perfil, con valores que van de 6.0 a 7.6 % y un promedio de 6.9 ± 0.4 %. Estos niveles son similares al promedio del aluminio encontrado en los sedimentos superficiales. Lo anterior podría significar que existe un aporte constante de este elemento, en términos temporales.

Cadmio

El contenido de Cd en el núcleo disminuye abruptamente desde la superficie (> 5 ppm), hacia las secciones más profundas (no detectable), indicando una migración ascendente de este metal, desde capas con ambientes poco oxidantes en el fondo hacia zonas de mayor oxidación en la superficie. Este comportamiento fue observado, en la caso de algunos metales, en los núcleos obtenidos en la Bahías de Mazatlán y Ohuira, en este trabajo, y ha sido observado por diversos autores en diferentes regiones del mundo (Páez-Osuna y Osuna-López, 1987; Szefer y Skwarzec, 1988). Además, la buena correlación entre cadmio y carbono orgánico, sugiere que este último juega un papel importante en los procesos de adsorción y desadsorción del Cd.

Cobalto

El perfil vertical de cobalto en los sedimentos del núcleo GYN muestra un ligero incremento desde las capas superficiales hacia profundidades intermedias del núcleo, en donde, a partir de la sección 9-10 cm, presenta las menores concentraciones de este elemento. Este comportamiento del cobalto indica una migración de Co desde las secciones profundas con ambientes poco oxidantes, hacia zonas de mayor oxidación en la superficie. Los contenidos de este metal en los sedimentos del núcleo se correlacionaron de manera inversa con los de carbonatos, como resultado del efecto dilutor de estos últimos sobre el Co.

Cromo

Las concentraciones de Cr en las secciones del núcleo variaron desde 5.7 hasta 40.4 ppm, con un promedio de 48.6 ± 30.1 . El perfil vertical del Cr para el núcleo GYN muestra un aumento desde la superficie hacia el fondo, con un incremento notable en la sección 7-8 cm. La explicación de dicho incremento en los centímetros superficiales, donde se esperaría un comportamiento inverso, podría ser la combinación de fenómenos como la bioturbación provocada por organismos excavadores, el mezclado,

el transporte físico de las partículas contaminadas y el flujo difusivo de los metales disueltos (Bothner *et al.* 1998).

Los niveles altos de cromo en las capas más profundas del núcleo son el resultado aparentemente de la asociación de este metal con los carbonatos ($r= 0.67$), de acuerdo con el modelo propuesto por Burdige y Gieskes (1983), el cual predice la formación diagenética de algunos minerales carbonatados, con los que los iones de cromo pudiesen estar asociados. Asimismo, las concentraciones de cromo en los sedimentos, se correlacionaron significativamente con aquellas de Cu ($r= 0.66$), Pb ($r= 0.86$) y Zn ($r= 0.49$; $p < 0.05$).

Cobre

Las concentraciones de Cu en los sedimentos del núcleo GYN variaron entre 81 y 189 ppm, con un promedio de 128 ± 31 ppm. El comportamiento de este metal sugiere que existen principalmente dos procesos; por un lado, la migración ascendente del metal desde capas con ambientes reductores en la región intermedia (9-10 cm), de la columna sedimentaria representada por el núcleo, hacia zonas oxidantes en la superficie del mismo. Y el otro, el enriquecimiento de concentración de Cu en las secciones más profundas, asociado a altos porcentajes de carbonatos ($r= 0.64$) y la posible formación diagenética de minerales de carbonato de cobre, como la Malaquita o la Azurita, en la zona de equilibrio sugerida por el modelo de Burdige y Gieskes (1983). Las concentraciones de este metal en los sedimentos también se correlacionaron con el contenido de Cr ($r= 0.66$), Pb ($r= 0.68$) y Zn ($r= 0.76$).

Hierro

El perfil de hierro es muy errático y no se muestra ninguna tendencia clara. Los valores son similares a los de los sedimentos superficiales, con un promedio de 3.1 ± 0.2 %, y un intervalo desde 2.9 hasta 3.3 %. El comportamiento en zigzag a lo largo de la

columna sedimentaria, podría estar definiendo variaciones temporales del aporte de terrígenos con contenido variable de este metal.

Este metal no se correlacionó con ningún otro parámetro determinado en este estudio, excepto con el litio, con quien lo hizo en forma inversa ($r = -0.46$), sugiriendo una diferencia entre las fuentes de aporte de ambos metales. A pesar de que el contenido de hierro en los sedimentos superficiales si se correlacionó con los otros metales; indicando que los procesos que rigen la geoquímica del Fe una vez incorporado a la columna sedimentaria son distintos a los que se presentan en la zona superficial.

Litio

El núcleo GYN, con un promedio de 7.9 ± 0.6 ppm de Li, presenta un perfil vertical ligeramente descendente a partir de las secciones superficiales hacia el fondo. Este comportamiento típico (Páez-Osuna y Osuna-López, 1987; Szefer y Skwarzec, 1988), es el resultado de la liberación de litio en ambientes poco oxidantes y su consecuente migración hacia zonas donde este metal puede ser adsorbido por material orgánico, minerales arcillosos u óxidos de hierro y manganeso y mantenerse en fase sólida (capas superiores); aún cuando no se observa ninguna correlación significativa con ninguno de estos parámetros, posiblemente debido a una compleja combinación entre los procesos.

Manganeso

El contenido de Mn en los sedimentos del núcleo osciló entre 247 y 355 ppm, con un promedio de 320 ± 25 ppm. El comportamiento de este metal también es un poco errático; sin embargo se puede observar a partir de su perfil, que existe un incremento en los niveles de manganeso en las capas intermedias (4 a 13 cm).

Existe una correlación con un nivel de significancia del 95 % ($p < 0.05$), entre los contenidos de este metal y los de Al ($r = 0.46$), sugiriendo un posible asociación entre los minerales aluminosilicatados y los óxidos de manganeso (Jenne, 1976).

Níquel

Las concentraciones de Ni en los sedimentos del núcleo variaron entre 36.9 y 54.4 ppm, con un promedio de 47.3 ± 5.2 ppm. La gráfica del perfil vertical de este elemento muestra que existe una constancia en el aporte de níquel durante los primeros 12 cm, a partir de los cuales se presenta una disminución gradual en su contenido, como resultado de la migración ascendente hacia zonas de oxidación, como se ha observado en otros metales. El contenido de Ni en los sedimentos del núcleo se correlacionó significativamente con el del aluminio ($r = 0.64$), como resultado de la capacidad de los minerales del grupo de los aluminosilicatos de adsorber este metal. Asimismo, el contenido de níquel se asoció en menor escala con las concentraciones de Cd ($r = 0.57$; $p < 0.05$).

Plomo

Con un promedio de 305 ± 75 ppm, la menor concentración de Pb se determinó en la sección superficial del núcleo (187 ppm), siendo un valor similar al detectado en los sedimentos superficiales del resto de las estaciones; en tanto que la máxima concentración (438 ppm) se presentó hacia las capas más profundas (sección 11-12 cm), en donde se mantiene relativamente estable. El comportamiento del contenido de plomo en las secciones profundas y su buena correlación con los porcentajes de carbonatos ($r = 0.60$), sugieren la asociación entre estos compuestos y el plomo, dando lugar a la posible formación de cerusita (PbCO_3), manteniéndose así este elemento en la fase sólida.

La disminución de los niveles de plomo hacia la superficie, también puede ser producto de la disminución del aporte de este metal, dado el menor uso de plomo en la gasolina (Bothner *et al.*, 1998).

Zinc

La tendencia histórica del cambio en el contenido de zinc en los sedimentos del núcleo GYN fue similar al presentado por el Pb, con valores que oscilan entre 334 y 513 ppm, en general, superiores a los detectados en las sedimentos superficiales, y con sus máximos valores en las capas profundas. Esto sugiere que el aporte de Zn en el pasado fue mayor al actual.

Igualmente, existe una buena correlación entre este metal y los carbonatos ($r= 0.65$), lo cual indica que el mecanismo propuesto por Burdige y Gieskes (1983), también funciona para el Zn, con la consiguiente formación diagenética de Smithsonita ($ZnCO_3$).

5.4 Análisis de componentes principales

Se realizó un análisis de componentes principales para agrupar elementos, áreas de altas concentraciones y algunos procesos físicos, que pudiesen explicar el comportamiento de los contenidos de los metales pesados en los sedimentos de la Bahía de Guaymas.

De acuerdo a este análisis se definió la presencia de cuatro componentes principales, los cuales explican el 85.2 % de la varianza (Tabla 5.9). El componente 1 explica el 57.0 % de la varianza y se caracteriza por tener únicamente altas cargas (< -0.7) para la fracción fina de los sedimentos, el carbono orgánico y las concentraciones de Al, Cr, Fe, Mn, Ni y Zn (Tabla 5.10), lo que sugiere una fuerte correlación entre estos metales debido a su origen común (terrágeno), así como la capacidad de los sedimentos finos y el material orgánico de adsorber dichos metales, como resultado de su capacidad de

intercambio catiónico dada su elevada área superficial (Jenne *et al.*, 1980, Horowitz y Elrick, 1987).

El segundo componente solo controla al contenido de carbonatos con una carga negativa (-0.77), explicando 10.3 % de la varianza, manifestándose la independencia de este parámetro con respecto a los demás analizados. En tanto que los componentes 3 y 4 representan el 10.0 y 7.9 % de la varianza, respectivamente. Las cargas para estos dos últimos componentes no exceden el valor absoluto de 0.7, por lo que no son considerados en el análisis.

Tabla 5.9.- Análisis de componentes principales para la concentración total de los metales pesados, carbonatos, carbono orgánico y porcentaje de finos.

Eigenvalores		Extracción de los componentes principales		
Componente	Eigenvalor	% Varianza total	Eigenval acumul.	% acumulativo
1	8.0	57.0	8.0	57.0
2	1.4	10.3	9.4	67.4
3	1.4	10.0	10.8	77.3
4	1.1	7.9	11.9	85.2

Cabe mencionar que ninguno de los cuatro componentes posee cargas significativas correspondientes a las concentraciones de Cd, Co, Cu, Li, Pb, y que se intento hacer el análisis con más componentes, sin tener éxito, pues el programa computacional empleado sólo proporcionó como resultado cuatro componentes.

Al graficar las cargas de las estaciones del componente C1 (Anexo XXVII) contra las del C2 (Fig. 5.30), se distingue claramente un grupo de puntos que corresponden a las estaciones localizadas en la boca oriente, con valores negativos del componente C1 y positivas del C2; es decir, caracterizadas por bajas concentraciones de sedimento fino, carbono orgánico, Al, Cr, Fe, Mn, Ni y Zn, y altos contenidos de carbonatos.

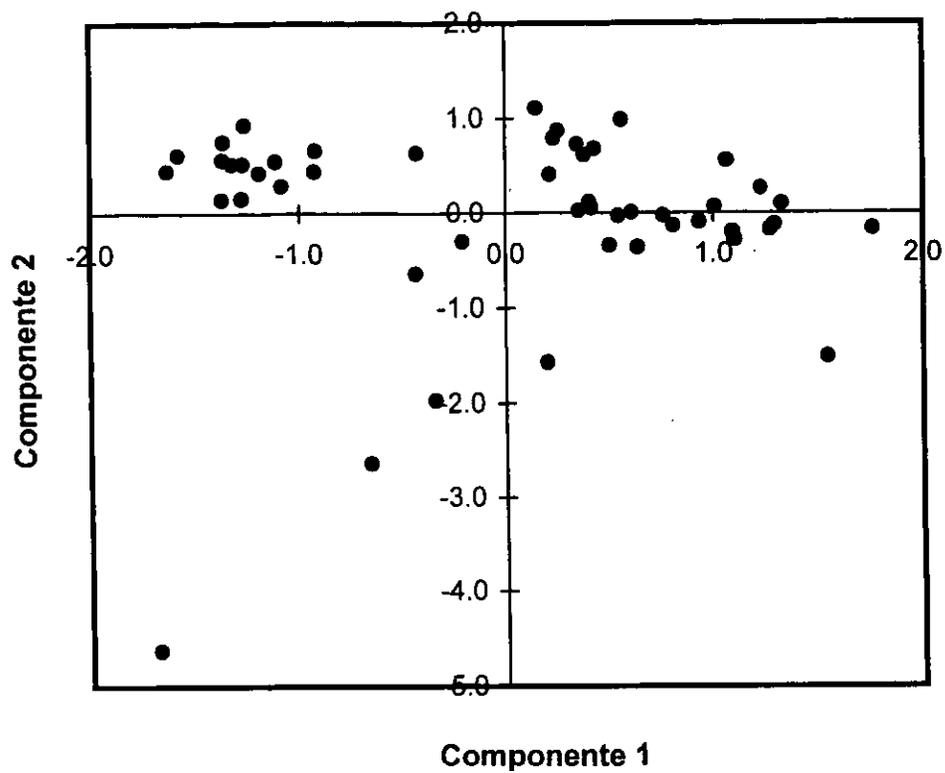


Fig. 5.30.- Análisis de componentes principales en sedimentos de Guaymas, Son.

Tabla 5.10.- Cargas de los parámetros en los tres componentes principales.

	C1	C2
FINOS	0.93	
CO3		-0.77
C_ORG	0.79	
Al	0.75	
Cr	0.82	
Fe	0.95	
Mn	0.75	
Ni	0.88	
Zn	0.83	

El análisis anterior permite corroborar la diferenciación hecha con anterioridad en relación con las regiones definidas como: laguna interior, zona de transición y boca oriente. En cuanto a las dos primeras, se observa que las estaciones correspondientes a la laguna interior, generalmente presentan valores del componente C1 mayores a 0.9.

CAPITULO 6

Características granulométricas, mineralógicas y geoquímicas de los sedimentos de Laguna de La Paz y región adyacente de la Bahía de La Paz

6.1 Granulometría

De acuerdo con Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham (1986), los sedimentos que se presentaron en esta zona de estudio fueron predominantemente arenas medias, sin embargo, se observó que hacia el interior de la laguna, el sedimento fue mas fino, llegando a existir zonas con limos finos y muy finos, según la clasificación de Shepard (1973) (Fig. 6.1). Tomando en consideración las características texturales del sedimento como son: tamaño promedio, grado de selección (desviación estándar), simetría y curtosis, dichos autores, definieron cuatro grupos principales de sedimentos.

El primero, principalmente conformado por estaciones ubicadas en el área del canal de navegación, extendiéndose hacia el centro y norte de la laguna, se caracteriza por ser arenas finas a gruesas, como resultado de la relativamente alta energía proporcionada por las corrientes de flujo y reflujo en esta zona. El segundo grupo está representado por arenas muy finas, que se observan en la región noroeste de la laguna, la cual está influenciada por el aporte eólico de arenas provenientes de la barrera arenosa. El tercer grupo de sedimentos, limos medios a muy gruesos, se presenta en el área sureste, asociado a la descarga de aguas municipales de la ciudad de La Paz, (actualmente fuera de operación); en la regiones noroeste y centro-oeste, donde existen dos pequeñas cuencas que alcanza hasta 9 m de profundidad (Espinza-Avalos, 1978). Finalmente, el cuarto grupo, formado por limos finos y muy finos, se distribuye en las partes más profundas de las cuencas arriba mencionadas, en la margen sur de la laguna, donde existe una zona de manglar y en la región sureste, donde se ubicaba la descarga de aguas municipales.

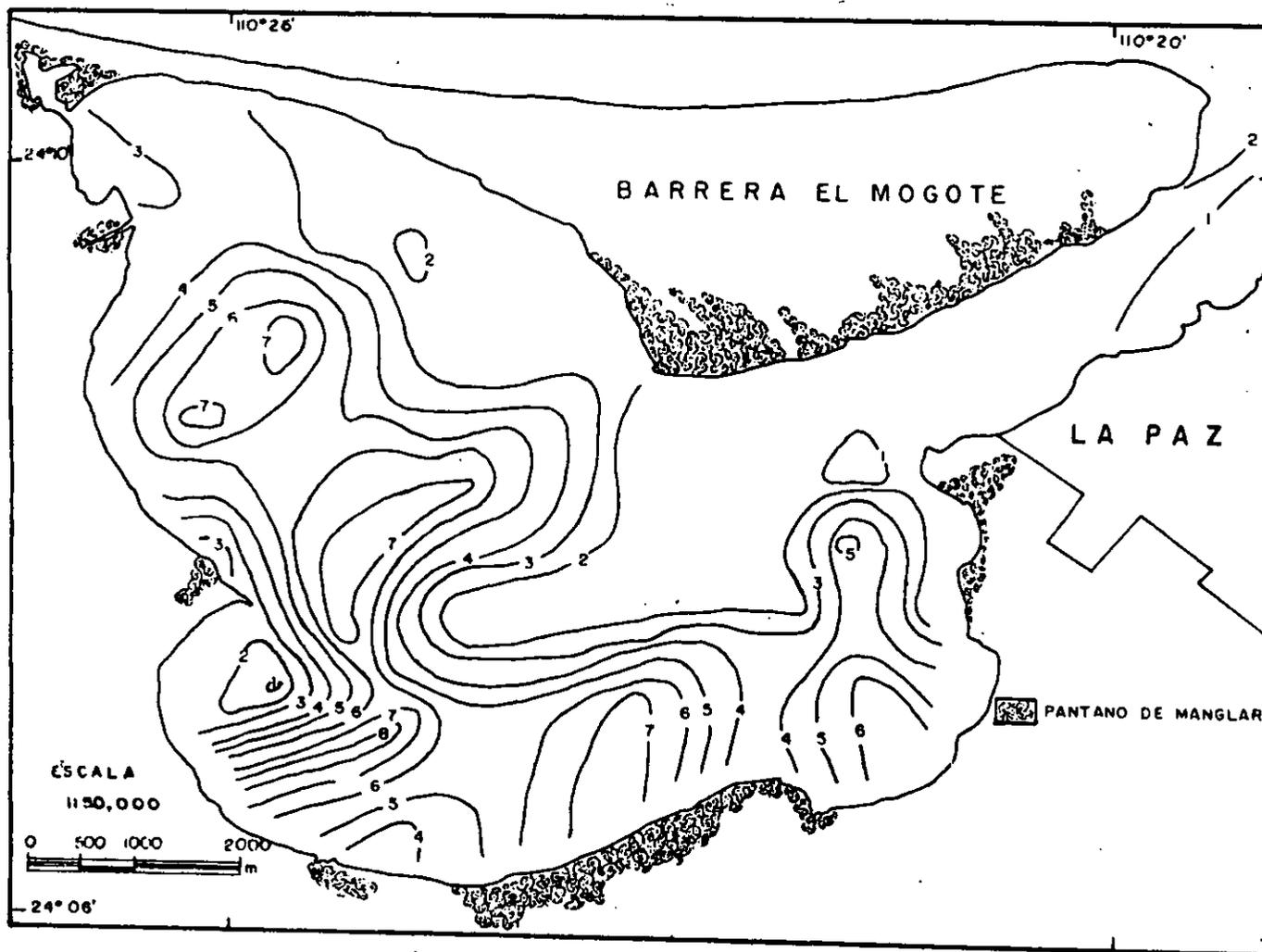


Fig. 6.1.- Distribución del tamaño promedio de los sedimentos (ϕ) en la laguna de la Paz, B. C. S. Tomado de Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham, 1986.

6.2 Mineralogía de la fracción arenosa de los sedimentos

En el presente estudio no se pudo realizar el análisis mineralógico de fracción arcillosa de los sedimentos. Sin embargo, para tener una idea del tipo de minerales que se pueden encontrar en esta zona, a continuación se presentan los resultados obtenidos por Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham (1986) en la fracción arenosa de los sedimentos de la Laguna de La Paz, los cuales, en general, son similares a los observados por Godínez-Orta *et al.* (1997).

Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham (1986) encontraron que existe una dominancia de cuarzo (Q) (15 a 77 %), excepto en la zona centro del cuerpo de agua, donde existía un banco de almejas, dando lugar a una dominancia de fragmentos de concha en esta zona. Las micas (nd a 20%) y los feldespatos (nd a 7 %) son escasos, mientras que los fragmentos de roca (1 a 40%) y los minerales ferromagnesianos (MF) (2 a 33%) están presentes en porcentajes relativamente altos. Asimismo, observaron que los porcentajes de minerales pesados (MP) en la fracción arenosa de los sedimentos, oscilaron entre 1.5 y 29.5 %, con un promedio de 8.4 %. Los mayores valores se ubicaron en la región noroeste, relacionados con el aporte eólico y la erosión por oleaje de arenas de la barrera arenosa El Mogote.

Con la información granulométrica, mineralógica y geoquímica (concentraciones de carbonatos, carbon orgánico y pentóxido de fósforo), Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham propusieron la presencia de seis subambientes sedimentarios (Fig. 6.2), cuyas características se resumen en la tabla 6.1.

6.3 Análisis geoquímico

6.3.1 Carbonatos

El contenido de carbonatos en los sedimentos superficiales en la laguna varió desde 1.3 hasta 91.9 %, con un promedio de 26.8 ± 23.8 % (Tabla 6.2; Anexo XXVIII). Los

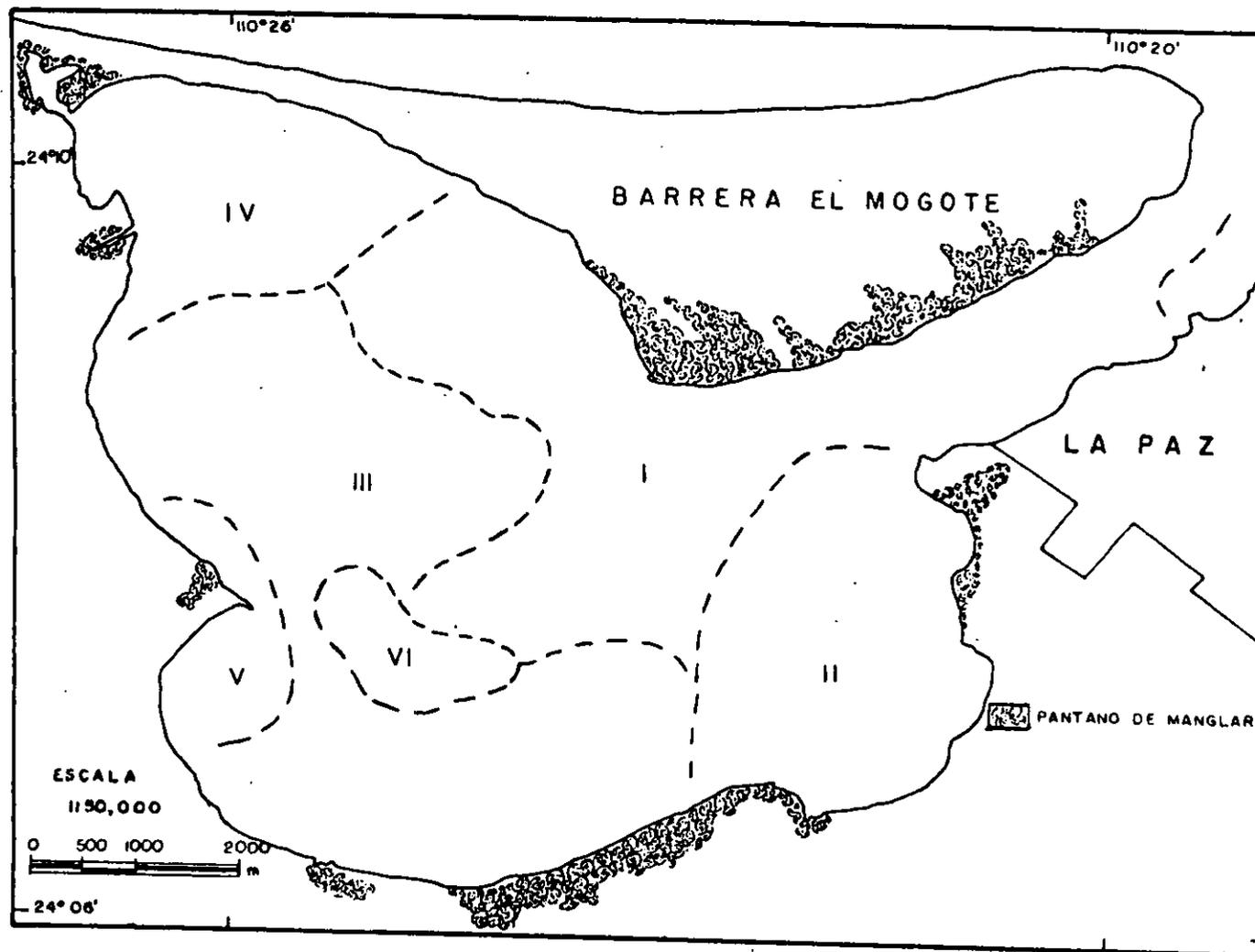


Fig. 6.2.- Subambientes sedimentarios del interior de la laguna de la Paz, B. C. S. Tomado de Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham, 1986.

mayores niveles de carbonatos se presentan en las estaciones R14 y R15, frente al hotel La Concha, donde existe un pequeño arrecife coralino antiguo a 2 m de profundidad, bajo la capa superficial de sedimentos; y S80, S84 y S86, en el canal de navegación, donde posiblemente las corrientes de flujo distribuyen los carbonatos provenientes de dicho arrecife. Las concentraciones más bajas (estaciones S24, S25, S26 y S59) se asocian principalmente a las zonas de manglar de la margen sur de la laguna (Fig. 6.3a). Estudios previos han encontrado el mismo comportamiento general (Alvarez-Arellano *et al.*, 1986; Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham, 1986), evidenciando que los factores que controlan el depósito de carbonatos en esta zona de estudio se han mantenido relativamente constantes, al menos durante el periodo 1986 a 1997, en que se obtuvieron las muestras para los estudios aquí discutidos.

Tabla 6.1.- Características de los subambientes sedimentarios del interior de la Laguna de La Paz, B. C. S. Tomada de Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham (1986). Q (cuarzo), MF (minerales ferromagnesianos), MP (minerales pesados).

Subambiente sedimentario	Tamaño del sedimento	Q (%)	MF (%)	MP (%)	CO ₃ ⁼ (%)	C-org (%)	P ₂ O ₅ (%)
I	Arenas	54	8	6.4	16.6	0.1	0.7
II	Arenas y limos	55	8	8.4	21.9	0.5	0.5
III	Arenas y limos	36	13	5.2	14.7	1.3	0.6
IV	Arenas	62	13	12.7	19.9	0.5	1.6
V	Arenas	48	8	8.5	20.6	0.6	0.8
VI	Limos	22	4	--	63.9	0.8	0.4

En lo que respecta al material sedimentario de los arroyos adyacentes, el contenido promedio de carbonatos fue de 4.0 ± 3.1 %, con un mínimo de 0.3 y un máximo de 9.5 %. Los valores más altos (> 9 %) corresponden a los arroyos T12, T14 y T15, en la margen sur y sureste de la laguna. El aporte de estos sedimentos biogénicos no es

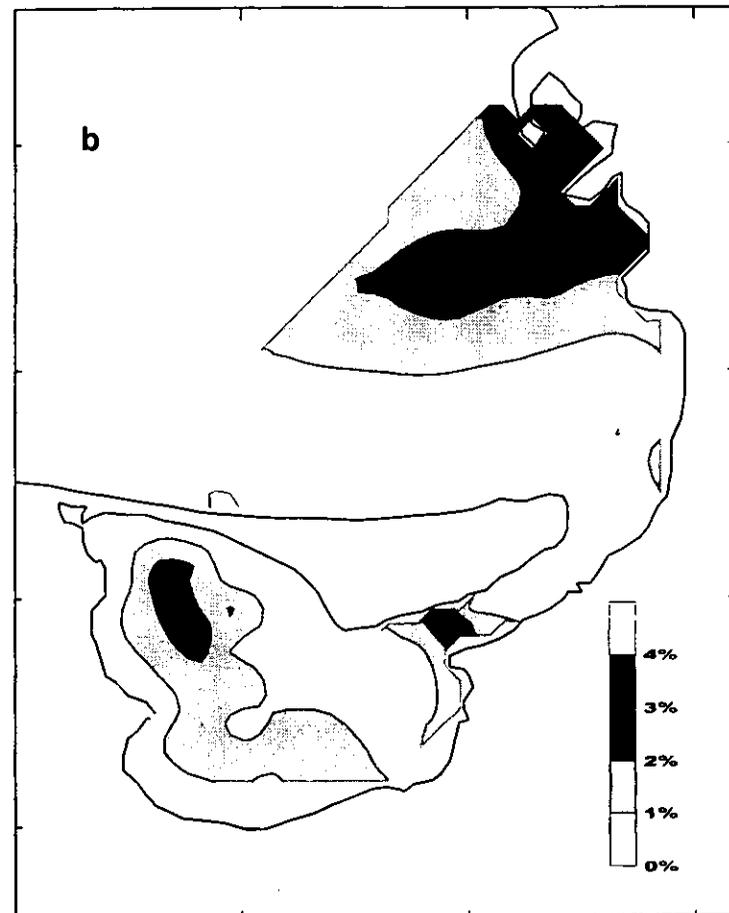
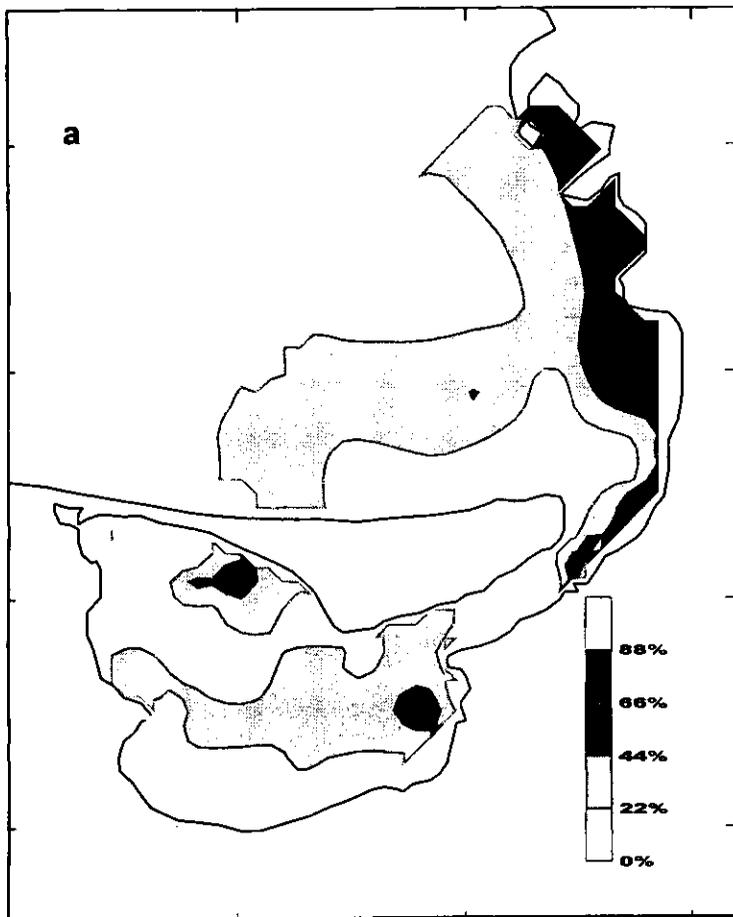


Fig. 6.3.- Distribución de la concentración de a) carbonatos y b) carbono orgánico.

significativo en relación con la distribución de este material en la laguna, donde se presentan concentraciones mucho mayores.

Tabla 6.2.- Promedio y desviación estándar de las concentraciones de carbonatos, carbono orgánico y metales totales en sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz y los arroyos adyacentes.

	Laguna de La Paz		Arroyos adyacentes	
	Promedio	Desv. están.	Promedio	Desv. están.
Carbonatos (%)	26.8	23.8	4.0	3.1
C-orgánico (%)	1.1	0.9	1.8	1.1
Al (%)	7.0	2.7	8.3	1.0
Cd (ppm)	3.5	0.9	3.0	0.6
Co (ppm)	36.9	10.1	40.4	9.6
Cr (ppm)	33.2	28.3	43.0	55.8
Cu (ppm)	9.1	6.9	10.3	9.6
Fe (%)	1.4	0.9	1.9	1.4
Li (ppm)	4.6	3.1	4.5	1.8
Mn (ppm)	178	98	306	189
Ni (ppm)	27.1	6.2	29.6	10.8
Pb (ppm)	52.7	15.7	45.2	9.5
Zn (ppm)	44.7	26.1	49.0	20.4

6.3.2 Carbono orgánico

La concentración promedio de carbono orgánico en los sedimentos superficiales de la Laguna de la Paz y región adyacente de la Bahía de la Paz fue de 1.1 ± 0.9 % y los valores oscilaron entre 0.1 y 3.8 % (Tabla 6.2, Anexo XXVIII). Los mayores contenidos se encontraron en las estaciones R4, R5, R6, R7, localizadas en el puerto de

Pichilingue y por lo tanto asociadas con una pequeña planta empacadora de sardina y con una zona de manglar hacia el interior de la pequeña ensenada que existe en esta zona; en las estaciones S91, S92 y S93, relacionadas con manglares que se presentan en la orilla de la barrera arenosa, en el margen del canal de navegación (Fig. 6.3b). La estación S32 tuvo un porcentaje de carbono orgánico en los sedimentos mayor a las estaciones que se encuentran a su alrededor, evidenciando relictos de la antigua descarga de aguas municipales en esta área, sin embargo, parece ser que, debido a la suspensión de dicha descarga, la distribución de material orgánico ha variado entre el patrón de distribución observado por Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham (1986) y el correspondiente a este trabajo, al menos en la región sureste de la laguna.

Una tercera zona de valores altos de carbono orgánico es la ubicada en la región centro-noroeste, relacionada con las dos cuencas internas de la laguna, donde la baja energía permite la acumulación de material orgánico y de sedimento fino.

En lo referente al aporte de carbono orgánico desde los arroyos adyacentes, se observaron contenidos de este material mayores a 3 % en el Estero Zacatecas y el arroyo La Ardilla, en la margen noroeste de la laguna, sin embargo el contenido de carbono orgánico en la zona de la laguna donde drenan estos cuerpos de agua, la concentración es menor a 1%. Lo anterior sugiere que existe un mecanismo de retención del material orgánico en los arroyos, evitando su aporte hacia la laguna.

6.3.3 Metales en sedimentos de la Laguna de La Paz y región adyacente de la Bahía de La Paz

En la tabla 6.2 se presentan en forma resumida las concentraciones totales promedio y la desviación estándar de cada uno de los metales estudiados en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz, mientras que los valores nominales para cada estación se muestran en el anexo XXIX. Asimismo, los coeficientes de correlación entre el porcentaje de carbonatos, carbono orgánico y los contenidos totales de los metales en los sedimentos se pueden observar en la tabla 6.3.

Tabla 6.3.- Matriz de los coeficientes de correlación de los parámetros determinados en sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz y región adyacente de la Bahía de La Paz.

	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Zn
CO ₃ ²⁻	-0.78	0.39	-0.67	-0.28	-0.25*	-0.49	-0.40	-0.39	-0.42	0.39	-0.39
C-org	-0.19*				0.40	0.29	0.46			0.26	0.40
Al			0.83	0.40	0.25	0.52	0.34	0.46	0.62	-0.31	0.43
Cd				0.41			-0.25			0.32	
Co				0.54	0.52	0.75	0.54	0.65	0.79	-0.33	0.63
Cr					0.20*	0.47		0.75	0.63		0.35
Cu						0.83	0.88	0.58	0.55	-0.21*	0.83
Fe							0.88	0.80	0.73	-0.30	0.91
Li								0.54	0.51	-0.30	0.90
Mn									0.72		0.68
Ni											0.58

* P < 0.05 , el resto en P < 0.01. Verificado por una prueba de "t" de student's.

Los datos correspondientes a los factores de enriquecimiento utilizando Al (FE_{Al}) y Li (FE_{Li}) como elementos conservativos y el índice de geoacumulación están contenidos en la tabla 6.4, y en los anexos XXX, XXXI y XXXII, respectivamente.

Tabla 6.4.- Factores de enriquecimiento, empleando Li (FE_{Li}) como elementos conservativos e índice de geoacumulación (I_{geo}) de los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz y arroyos adyacentes.

	Laguna de La Paz			Arroyos adyacentes		
	FE_{Al}	FE_{Li}	I_{geo}	FE_{Al}	FE_{Li}	I_{geo}
Cd	---	---	4.5	---	---	4.3
Cr	---	---	-2.5	---	---	-2.5
Cu	0.3	1.3	-3.3	0.2	1.2	-3.2
Fe	0.4	1.9	-2.7	0.4	2.9	-2.1
Mn	0.3	1.3	-3.3	0.3	2.1	-2.5
Ni	0.6	3.0	-2.1	0.4	2.8	-2.0
Zn	0.7	3.8	-1.7	0.6	4.3	-1.4

--- No calculados debido a que no se correlacionaron significativamente con Al y Li.

Aluminio

La concentración de Al en los sedimentos superficiales de este cuerpo de agua varió entre 0.5 y 13.7 %, con un promedio de 7.0 ± 2.7 %. Los valores más altos de este elemento en los sedimentos se ubicaron en la margen suroeste de la laguna (estaciones S20 y S24) (Fig. 6.4), asociados a limos finos, y en el Estero Zacatecas (estación S11); en la zona exterior adyacente a la barrera arenosa El Mogote (estación R20), posiblemente como resultado del transporte litoral de arenas provenientes de las Formación San Gregorio; y en la orilla este del cuerpo lagunar (estaciones S33 y V45),

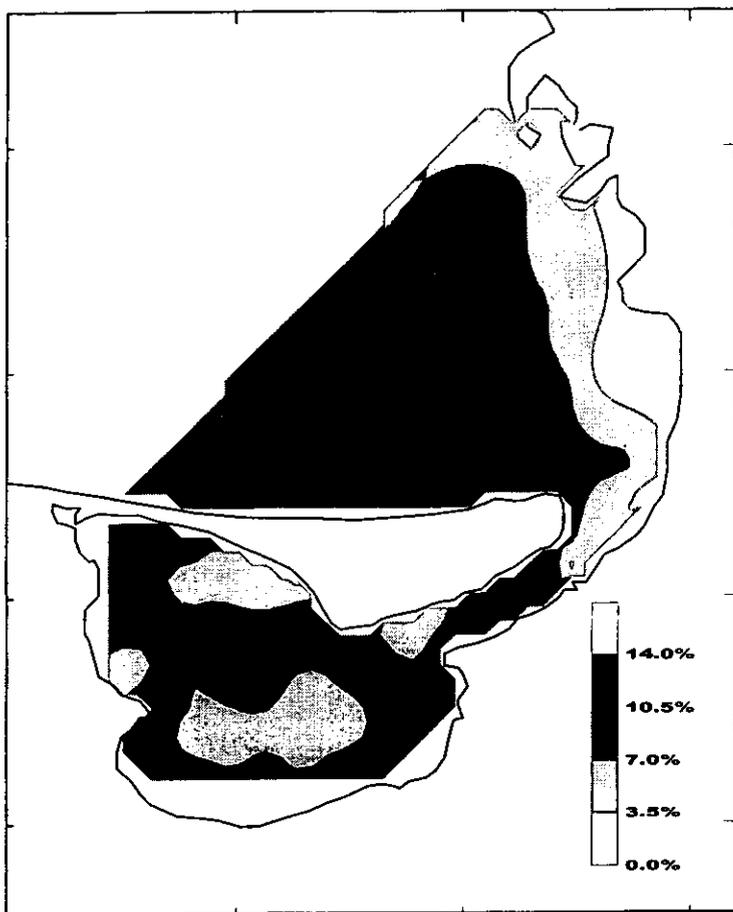


Fig. 6.4.- Distribución de la concentración de aluminio.

la cual está influenciada por el aporte del arroyo el Cajoncito (estación T16).

Los niveles bajos de este metal en el sedimento se localizan en las estaciones S13, S80, S84 y S86, asociadas con altas concentraciones de carbonatos de calcio ($r = -0.78$), dado el efecto dilutor que este material ocasiona. Asimismo, existe una correlación inversa entre los contenidos de Al y carbono orgánico ($r = -0.19$; $P < 0.05$), evidenciando su diferente origen.

Debido a que no existen datos paralelos de granulometría que permitan correlacionar la concentración de aluminio en los sedimentos de la Laguna de La Paz con el contenido de sedimento fino, y dado que la correlación con los niveles de este metal y carbono orgánico, la cual fue inversa, es una forma indirecta de estimar dicha relación, se decidió no discutir los valores correspondientes a los factores de enriquecimiento de los metales con este elemento conservativo.

Los valores obtenidos para el contenido de Al en los sedimentos se correlacionaron significativamente ($P < 0.01$) con aquellos obtenidos para el hierro ($r = 0.52$) y el manganeso ($r = 0.46$), evidenciando su asociación con los óxidos de estos metales, tal como lo sugiere Horowitz (1991); asimismo, se correlacionaron con los de Co ($r = 0.83$), Cr ($r = 0.40$), Cu ($r = 0.25$), Ni ($r = 0.62$) y Zn ($r = 0.43$), en forma directa, y con los de Pb ($r = -0.31$), de manera inversa; sugiriendo una fuente común entre estos metales, excepto el plomo.

De acuerdo con los resultados del análisis de las muestras de los arroyos adyacentes, existe una entrada de sedimentos con relativamente altas concentraciones de Al en la margen sur y sureste de la laguna, en las estaciones T13, T14, T15 y T16, cuyos niveles son mayores que 9%. Al realizar el procedimiento de normalización sugerido por Szefer *et al*, (1996), sólo las estaciones S11 y R20 presentaron valores mayores a los esperados según su contenido de Li (Fig. 6.5).

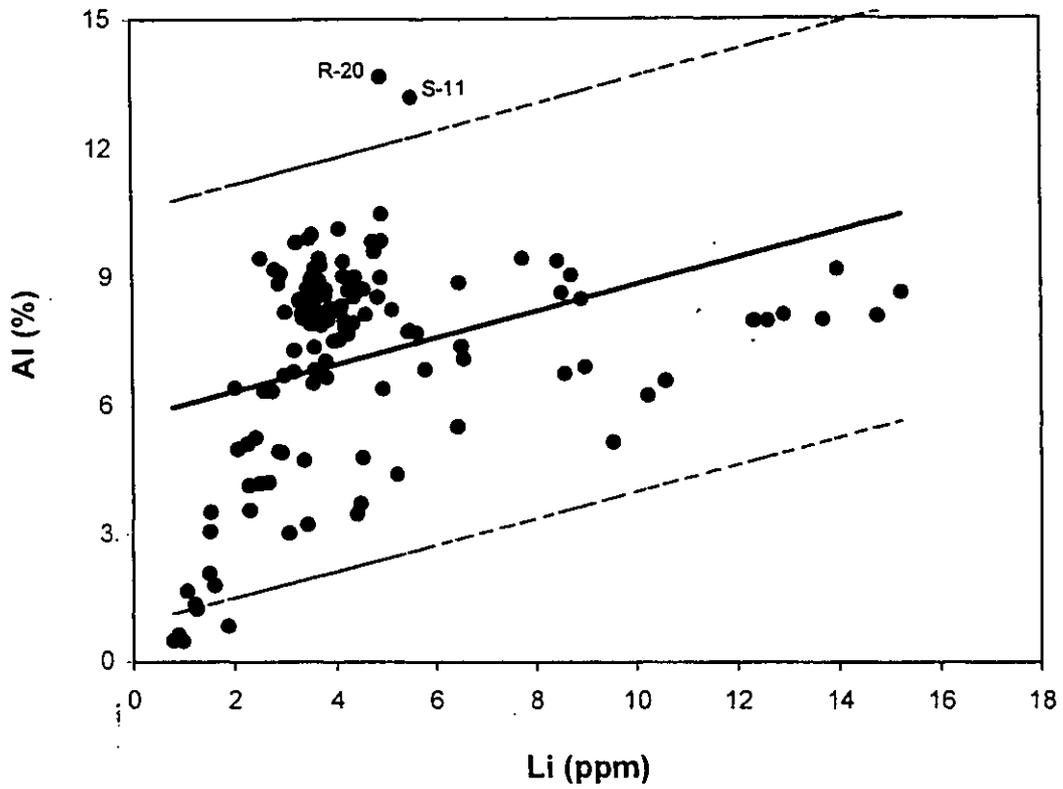


Fig. 6.5 Concentración de Al contra Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

Cadmio

La concentración promedio de Cd en los sedimentos superficiales fue de 3.5 ± 0.9 ppm, variando en un intervalo que va de 2.0 a 9.4 ppm. Se observan los valores altos de contenido de Cd en las estaciones R20 y R18, la región sur de la Bahía de La Paz, adyacente a la laguna (Fig. 6.6a), y en las estaciones S1, S2, S3, S4, S11 y S13, a lo largo de la orilla de la barrera El Mogote, en la zona norte-noroeste de la laguna, como consecuencia del transporte litoral de sedimentos provenientes de las rocas fosfóricas de la Formación San Gregorio, aunado al transporte eólico a través de la zona más estrecha de la barrera hacia la laguna, como lo sugirieron Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham (1986), a través de un análisis de la distribución de pentóxido de fósforo dentro de este cuerpo de agua.

Al respecto, diversos autores (Mann y Ritchie, 1995; Alvarez-Arellano y Páez-Osuna, 1995; Mendez *et al.*, 1998), han observado una asociación entre altas concentraciones de Cd y las rocas fosfóricas. Altschuler (1980), citado por Alvarez-Arellano y Páez-Osuna (1995), menciona que en la mayoría de las rocas sedimentarias de origen marino (como las que conforman la Formación San Gregorio), la abundancia de Zn excede a la del Cd por un factor de varios cientos ($Zn/Cd > 100$), mientras que en las fosforitas, el Cd es enriquecido diferencialmente con respecto al Zn, llegando a presentar una relación Zn/Cd aproximada de un factor de 10. En este estudio, se determinaron estas relaciones, obteniéndose un promedio de 13.7 ± 9.5 (Anexo XXIX).

Alvarez-Arellano y Páez-Osuna (1995) determinaron la concentración de Cd en una muestra de la Formación San Gregorio, obtenida en San Juan de la Costa, donde se ubica la compañía Roca Fosfórica Mexicana (ROFOMEX), que desde hace varias décadas explota los yacimientos de fosforitas de dicha formación (50 km al norte de la ciudad de La Paz), encontrando un contenido de 14 ppm de Cd y una relación Zn/Cd igual a 6.6. Asimismo, Méndez *et al.* (1998) encontraron altos valores de Cd en 12 muestras de sedimentos de la Laguna de La Paz (aproximadamente entre 8 y 32 ppm), explicando que estos niveles pueden ser causados por la erosión eólica de la

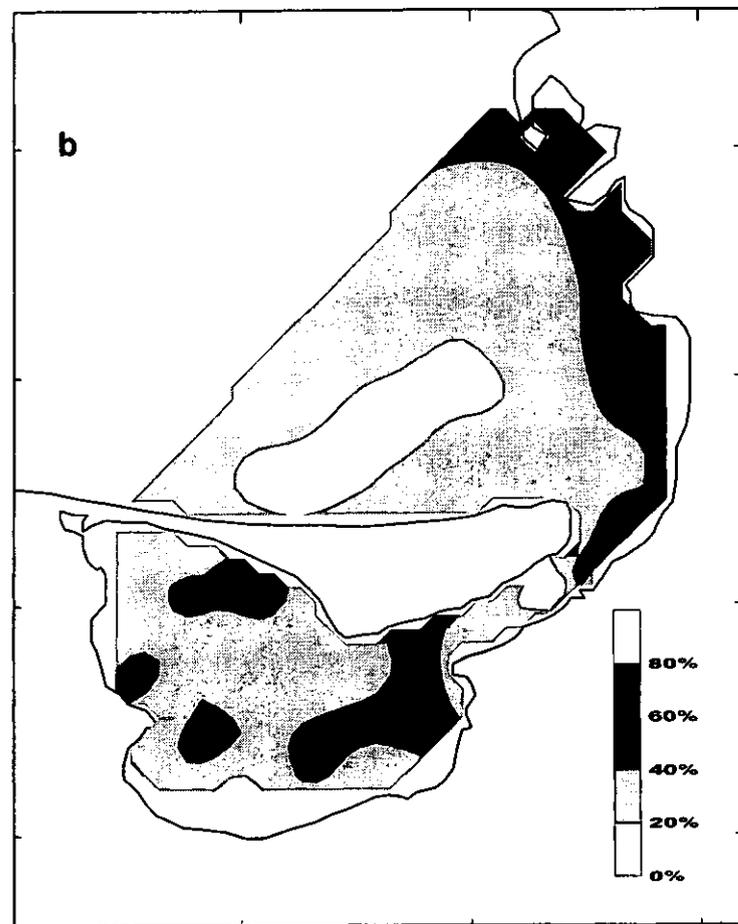
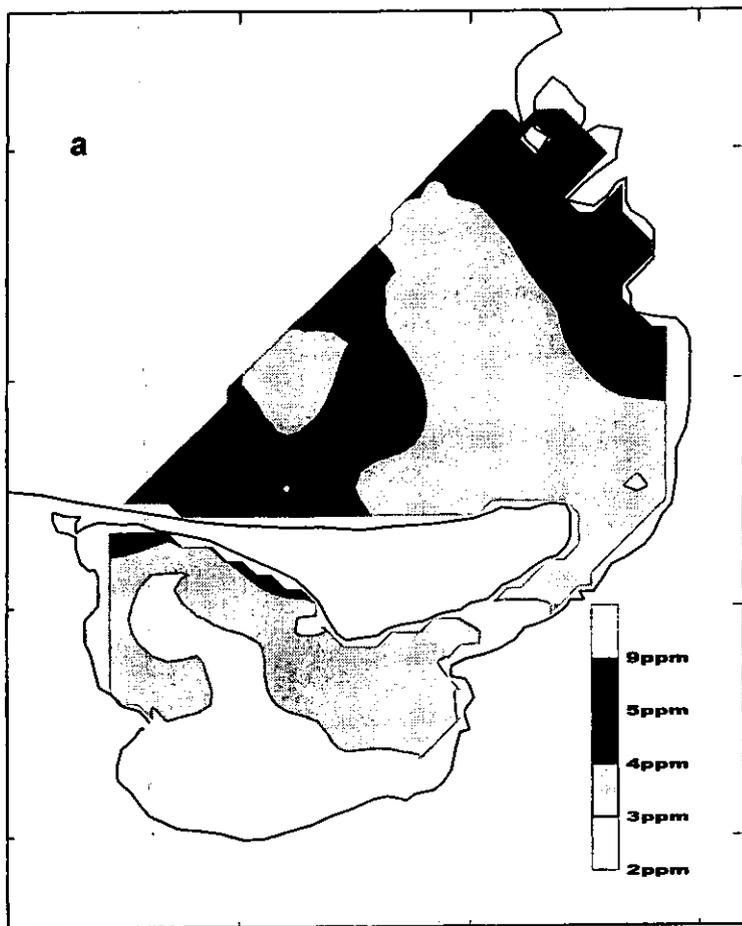


Fig. 6.6.- Distribución de a) la concentración de cadmio, y b) la proporción de Cd biodisponible.

Formación Monterrey (refiriéndose a la Formación San Gregorio), y de la actividad minera. Estos autores mencionan que las partículas ricas en Cd son transportadas hacia el sur por las corrientes costeras y depositadas en áreas cercanas a la barrera arenosa El Mogote.

Las rocas fosfóricas, las cuales posiblemente sean el principal aporte de Cd hacia la laguna y parte sur de la Bahía de La Paz, tienen alto contenido de fósiles carbonatados de origen marino; además, poseen un cementante de calcita microcristalina, por lo que no es sorprendente la correlación significativa entre la concentración de cadmio y el contenido de carbonatos ($r= 0.39$).

Por otro lado, sólo este metal y el plomo presentaron valores del índice de geoacumulación (Müller, 1979) mayores a la unidad. De hecho, el cadmio fue el que obtuvo los más altos valores con un promedio de 4.5 (fuertemente a muy fuertemente contaminado). Lo anterior puede ser el resultado de los aportes naturales provocados por el transporte litoral de material erosionado de la Formación San Gregorio que se presenta en la zona de estudio, así como al efecto de la actividad minera en San Juan de La Costa a 50 km al norte de la ciudad de La Paz.

Tabla 6.5.- Promedio y desviación estándar de las proporciones (%) de la concentración potencialmente biodisponible, con respecto al contenido total de metales pesados, en sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz y los arroyos adyacentes.

	Laguna de La Paz		Arroyos adyacentes	
	Promedio	Desv. están.	Promedio	Desv. están.
Bio-Cd	37.0	17.2	16.7	8.1
Bio-Cu	31.8	18.8	22.1	12.8
Bio-Fe	26.5	24.4	10.8	5.2
Bio-Pb	39.7	19.5	22.3	16.3
Bio-Zn	18.1	15.5	9.1	7.1

La concentración de Cd, Cu, Fe, Pb y Zn en la denominada fase potencialmente biodisponible de los sedimentos con respecto a la concentración total del correspondiente metal se presenta en el anexo XXXIII, en tanto que de forma resumida, en la tabla 6.5, se muestran los promedios y desviación estándar de cada metal. Asimismo, la correlación entre estas variables y los otros parámetros se presentan en la tabla 6.6.

Tabla 6.6.- Matriz de los coeficientes de correlación de las concentraciones potencialmente biodisponible de metales pesados y los parámetros determinados en sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz. (P < 0.01).

	Bio-Cd	Bio-Cu	Bio-Fe	Bio-Pb	Bio-Zn
CO ₃ ⁼	0.81	0.55	0.73	0.68	0.69
C-org	0.30	0.23*		0.28	
Al	-0.80	-0.53	-0.67	-0.68	-0.64
Co	-.67	-0.54	-0.71	-0.52	-0.62
Cr	-0.34	-0.46	-0.37	-0.38	-0.32
Cu		-0.27	-0.41		-0.33
Fe	-0.41	-0.44	-0.66		-0.49
Li	-0.23*	-0.27	-0.49		-0.40
Mn	-0.40	-0.52	-0.58	-0.29	-0.50
Ni	-0.41	-0.45	-0.56	-0.36	-0.46
Pb	0.38	0.49	0.22*		0.22*
Zn	-0.30	-0.28	-0.55		-0.46
Bio-Cd		0.53	0.66	0.73	0.58
Bio-Cu			0.49	0.44	0.64
Bio-Fe				0.54	0.68
Bio-Pb					0.58

* P < 0.05

En promedio, el porcentaje de Cd biodisponible es de 37.0 ± 17.2 %, respecto al contenido total de este metal en los sedimentos de la Laguna de La Paz. Las proporciones oscilaron entre 9.5 y 77.2 %. Los máximos valores (Fig. 6.6b) se ubicaron en las estaciones con alto contenido de carbonatos (R14, R15, S34, S35 y S36), con el cual la fracción biodisponible de este metal estuvo significativamente asociada ($r = 0.81$). Asimismo, existen correlaciones inversas entre esta proporción y los contenidos totales de Al, Fe, Li y Mn en los sedimentos, como producto de la misma correlación inversa entre dichos metales y los carbonatos.

La proporción biodisponible de cadmio en el material sedimentario de los arroyos adyacentes presentó un promedio de 16.75 ± 8.1 %, variando entre 3.9 y 28.3 %, lo que significa que los procesos de fraccionamiento geoquímico del Cd se presentan en forma distinta en el ambiente lagunar que fluvial, dado los diferentes factores que están involucrados.

Cobalto

Las concentraciones de cobalto en los sedimentos superficiales de este cuerpo de agua oscilaron entre 12.1 y 73.3 ppm, con un promedio de 36.9 ± 10.1 . Al igual que aluminio y cadmio, los altos contenidos de Co están relacionados al aporte de material proveniente de las rocas fosfóricas de la Formación San Gregorio (estaciones S4, S11 y R20), seguidas de las estaciones (S63, S64 y S66), localizadas en la parte centro-noroeste de la laguna (Fig. 6.7), en una pequeña cuenca, donde, de acuerdo con Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham (1986), predominan los sedimentos limosos, los cuales se ha reconocido son buenos atrapadores de metales (Palanquez y Diaz, 1994; Tam y Yao, 1998).

Alvarez-Arellano y Páez-Osuna (1995) encontraron un valor de 12 ppm de cobalto en una muestra de la Formación San Gregorio, comparable a los valores más bajos encontrados en la laguna. Mientras que, en este estudio se obtuvo un promedio de 40.4

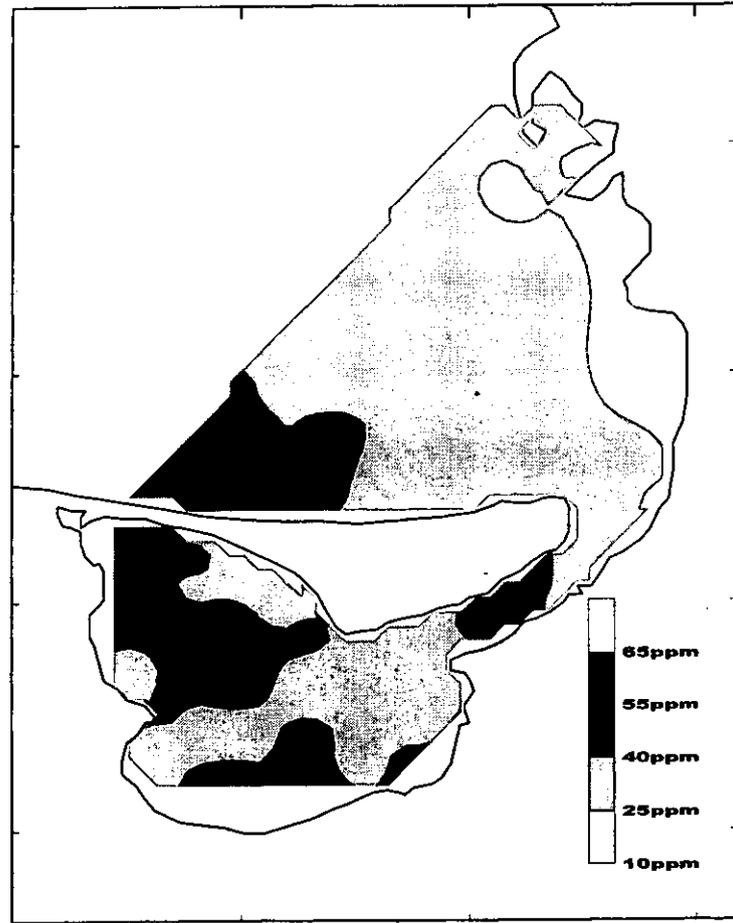


Fig. 6.7.- Distribución de la concentración total de cobalto.

± 9.6 ppm de Co en los arroyos adyacentes, con valores que oscilan entre 25.7 y 61.6 ppm, sugiriendo que estos son la fuente principal de cobalto hacia el interior del cuerpo de agua, al menos en sus regiones centro y sur.

El cobalto se correlacionó significativamente ($P < 0.01$) con el contenido de aluminio ($r= 0.83$), hierro ($r= 0.75$), litio ($r= 0.54$), y el manganeso ($r= 0.65$), evidenciando el papel importante que juegan los minerales del grupo de los aluminosilicatos y los óxidos de hierro y manganeso (Horowitz, 1991) en el comportamiento geoquímico de dicho metal.

Asimismo, en la figura 6.8 se muestra la regresión lineal entre cobalto y aluminio y litio, observándose anomalías únicamente en las estaciones R20, en la región externa de la laguna, y T1, en el Estero de Zacatecas.

Cromo

Los valores correspondientes al contenido de cromo en los sedimentos superficiales de la Laguna de la Paz y región adyacente de la bahía del mismo nombre variaron desde 8.3 hasta 193.7 ppm, presentando un promedio de 33.2 ± 28.3 ppm. Las mayores concentraciones de Cr se ubicaron en la región noroeste de la laguna (estaciones S2, S4, S15, S16 y V43), asociadas con contenidos extremadamente altos de cromo en el Estero Zacatecas, en las estaciones T1 y T2 (231 y 93 ppm, respectivamente), que a su vez son el resultado del aporte de sedimentos ricos en este metal, provenientes de la roca fosfórica de la Formación San Gregorio, en donde Alvarez-Arellano y Páez-Osuna (1995) encontraron 335 ppm de cromo. Esta misma fuente está aportando sedimentos ricos en cromo a el área sur de la Bahía de La Paz, adyacente a la laguna, mediante las corrientes litorales, como lo sugiere la presencia de valores altos en las estaciones R20, R21 y R22 (Fig. 6.9).

De acuerdo con Alvarez-Arellano y Páez-Osuna (1995), el enriquecimiento relativo de Cr en las fosforitas está relacionado con el acomplejamiento orgánico o adsorción de dicho elemento y parece ser uno de los rasgos geoquímicos distintivos de las

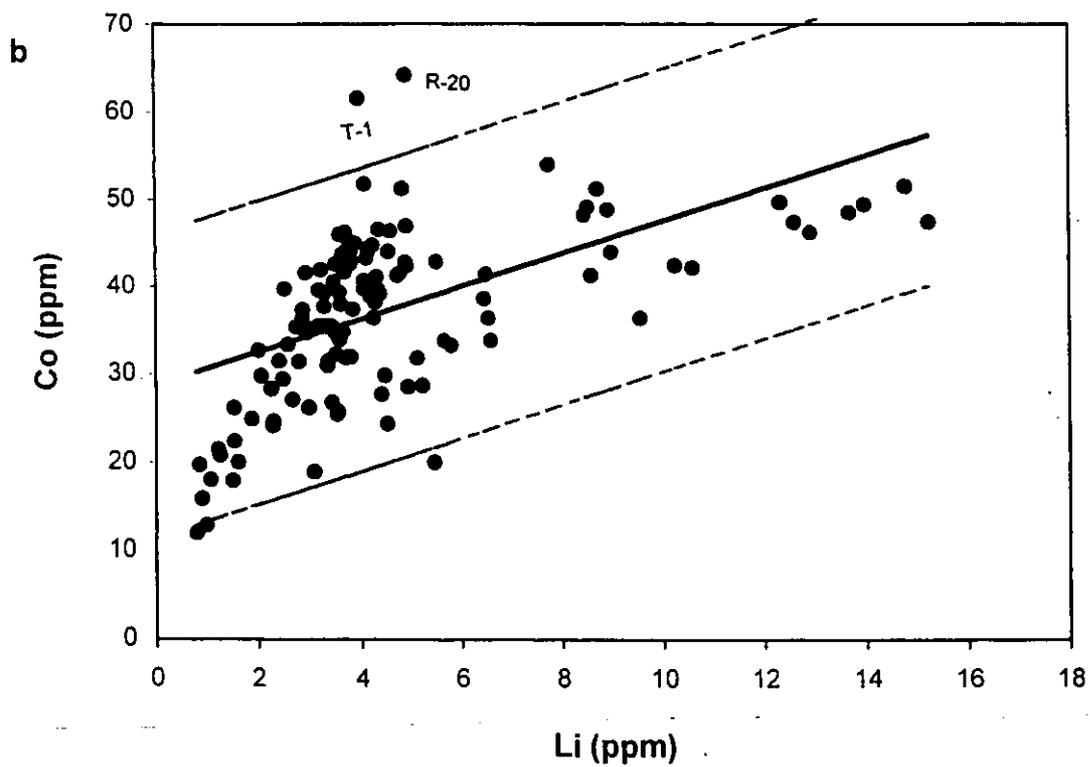
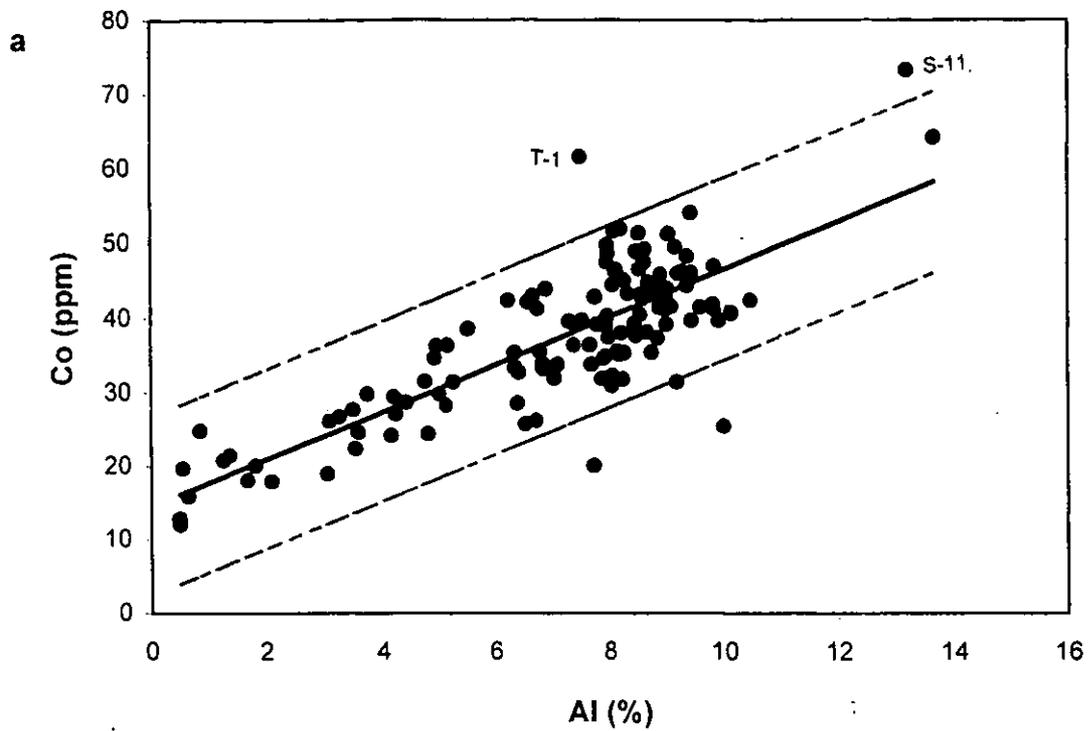


Fig. 6.8 Concentración de Co contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

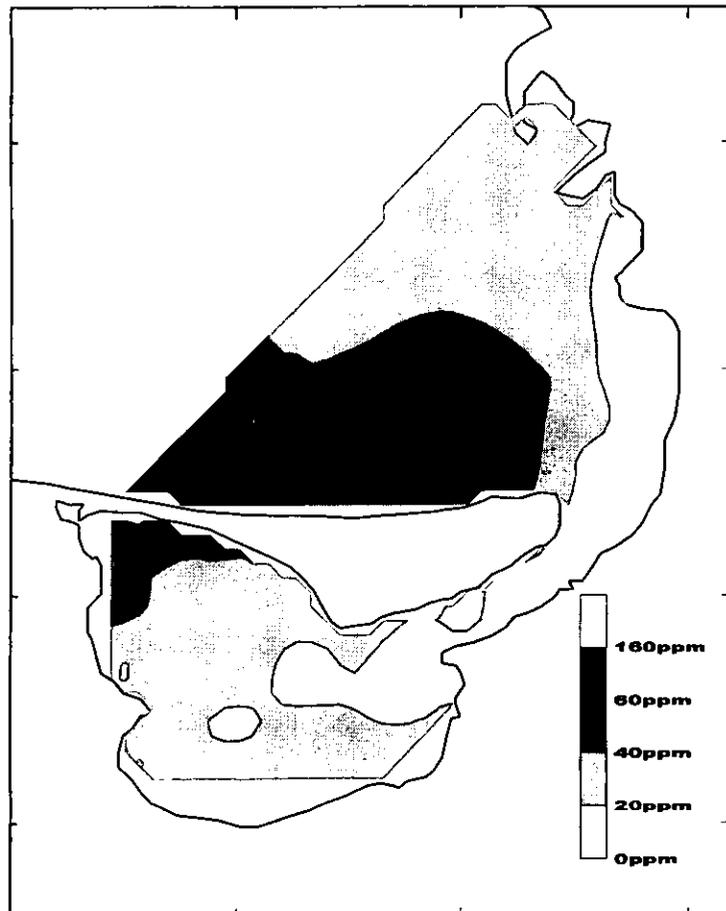


Fig. 6.9.- Distribución de la concentración de cromo.

formaciones presentes en Baja California Sur. Por otro lado, el comportamiento geoquímico del cromo está gobernado en gran parte por la presencia de óxidos de hierro y manganeso, como lo ha mencionado Horowitz (1991), así como por los aluminosilicatos, como lo muestra la correlación significativa que existe entre este metal y Al ($r= 0.40$), Fe ($r= 0.47$) y Mn ($r= 0.75$).

Dado que no existe correlación entre Cr y Li, no se efectuaron los cálculos del factor de enriquecimiento, ni el proceso de normalización. Sin embargo, se obtuvo el índice de geoacumulación propuesto por Müller (1979), encontrándose que los sedimentos de la Laguna de La Paz no están contaminados con cromo ($I_{geo}= -2.5$).

Cobre

El valor promedio de cobre en los sedimentos superficiales fue de 9.1 ± 6.9 ppm, con un mínimo de 2.5 y un máximo de 30.4 ppm. Los mayores valores de Cu se encontraron en los sedimentos de las estaciones S53, S54, S61, S66 (Fig. 6.10a), en la cuenca noroeste del cuerpo lagunar, donde según Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham (1986), se presentan sedimentos finos con alto nivel de carbono orgánico ($r= 0.40$). La capacidad de los sedimentos finos y el material orgánico para adsorber metales ha sido enfatizada por diversos autores (Hirner *et al.*, 1990; Loring, 1990; Horowitz, 1991, Green-Ruiz, 1996).

Otra zona de altos contenidos de Cu en los sedimentos se presenta en la región sureste, asociada también a sedimentos finos y a la antigua descarga de aguas municipales. Igual comportamiento fue observado por Méndez *et al.* (1998), en 12 muestras de sedimentos obtenidas en la laguna, dos años antes de la obtención de muestras para este estudio.

Los sedimentos de la estación R20 posee una concentración de Cu mayor a la de las estaciones aledañas (18.3 ppm), comparable a la encontrada por Alvarez-Arellano y Páez-Osuna (1995) en las fosforitas de la Formación San Gregorio (16 ppm), sugiriendo

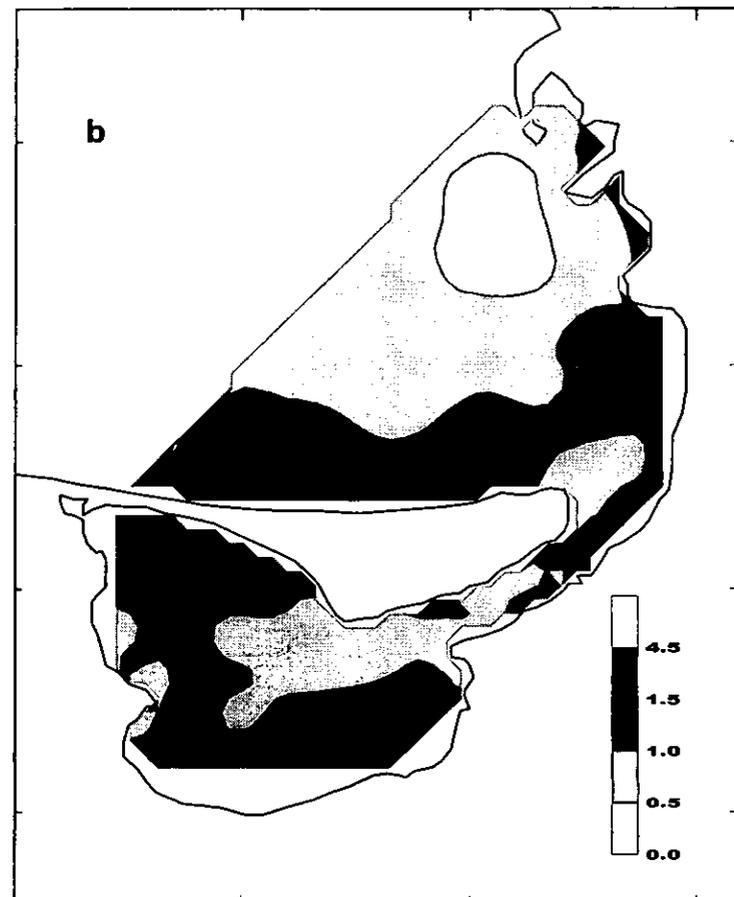
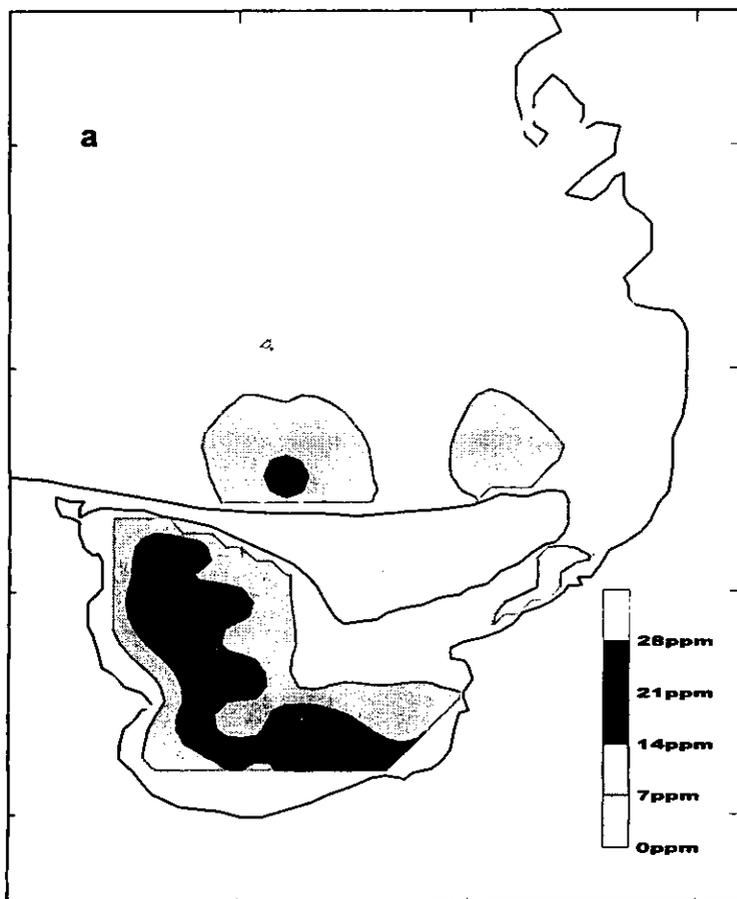


Fig. 6.10.- Distribución de a) la concentración de cobre, y b) el factor de enriquecimiento de Cu, empleando Li como elemento conservativo.

que estas rocas pueden ser la fuente de aporte de cobre hacia la zona sur de la Bahía de La Paz.

El contenido de Cu se correlacionó significativamente con Al ($r= 0.25$), Fe ($r= 0.83$), Mn ($r= 0.58$) y Li (0.88), además de los otros metales estudiados, excepto con Cd, aunque la asociación con Pb es inversa ($r= -0.21$; $P < 0.05$). Lo anterior como resultado de la capacidad de los minerales silicoaluminatos y los óxidos de hierro y manganeso de atraer a los iones metálicos, así como su origen común con el litio.

En cuanto al factor de enriquecimiento, el promedio en los sedimentos de la laguna fue de 1.3 ± 0.8 ppm, observándose los mayores enriquecimientos en las estaciones S80, S86, R14 y R15 (Fig. 6.10b), donde se presentan altos porcentajes de carbonato (> 80 %) que diluyen la concentración de Li, como elemento conservativo, pero no la del Cu, el cual está siendo aportado al sistema por otras fuentes adicionales a aquellas que comparte con el litio.

Otra zona de enriquecimiento de cobre en los sedimentos se identifica en la región noroeste (estaciones S7 y S13), relacionada con el aporte de este metal a través del Estero Zacatecas, donde también se detectó un factor de enriquecimiento relativamente alto en la estación T1 ($FE_{Li}= 1.7$). Una tercer área de enriquecimiento, aunque con valores intermedio, pero que sobresale de las zonas aledañas, se ubica al sureste de la laguna, como producto del aporte a través de los arroyos que desembocan en dicha región (T14 y T15) y que están asociados con la antigua descarga de aguas municipales.

Al efectuar el proceso de normalización sugerido por Buat-Menàrd (1979), se observa que las estaciones T14, T15, y en menor proporción, R20 y S27, tienen un contenido de cobre mayor al que les correspondería de acuerdo con la concentración de litio (Fig. 6.11). Sin embargo, aún estas estaciones, al igual que el cuerpo lagunar completo, son consideradas no contaminadas con Cu, de acuerdo a los índices de geoacumulación determinados ($I_{geo}= -3.3$), empleando la clasificación propuesta por Müller (1979).

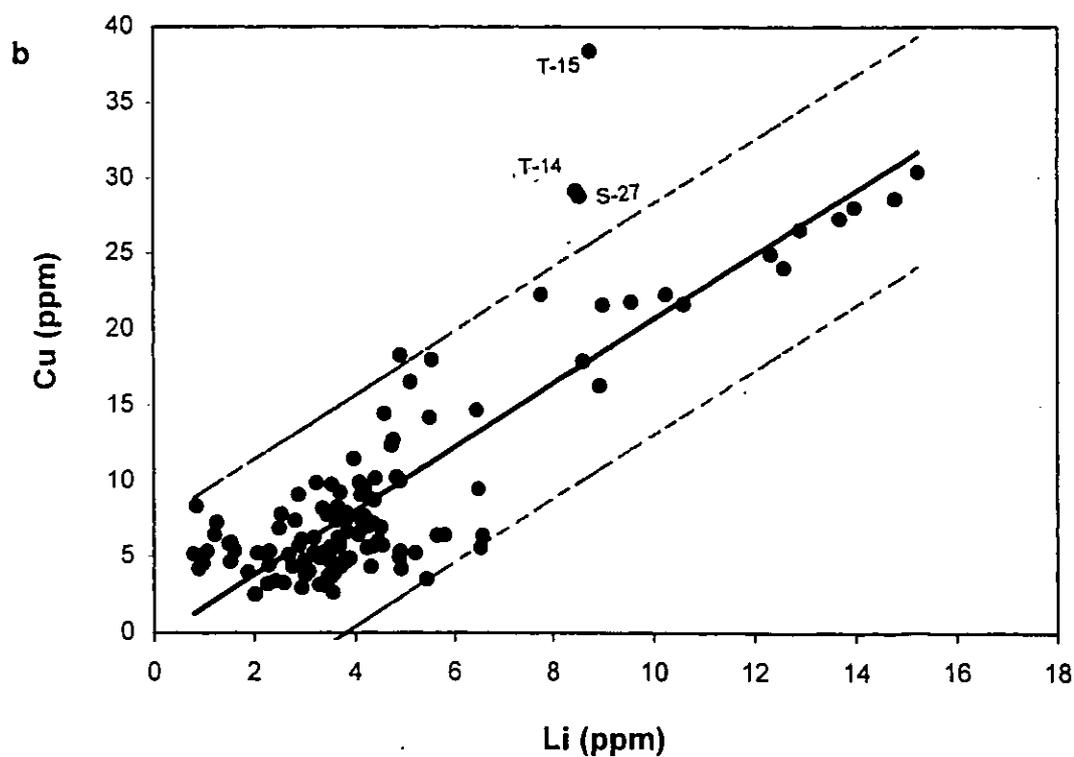
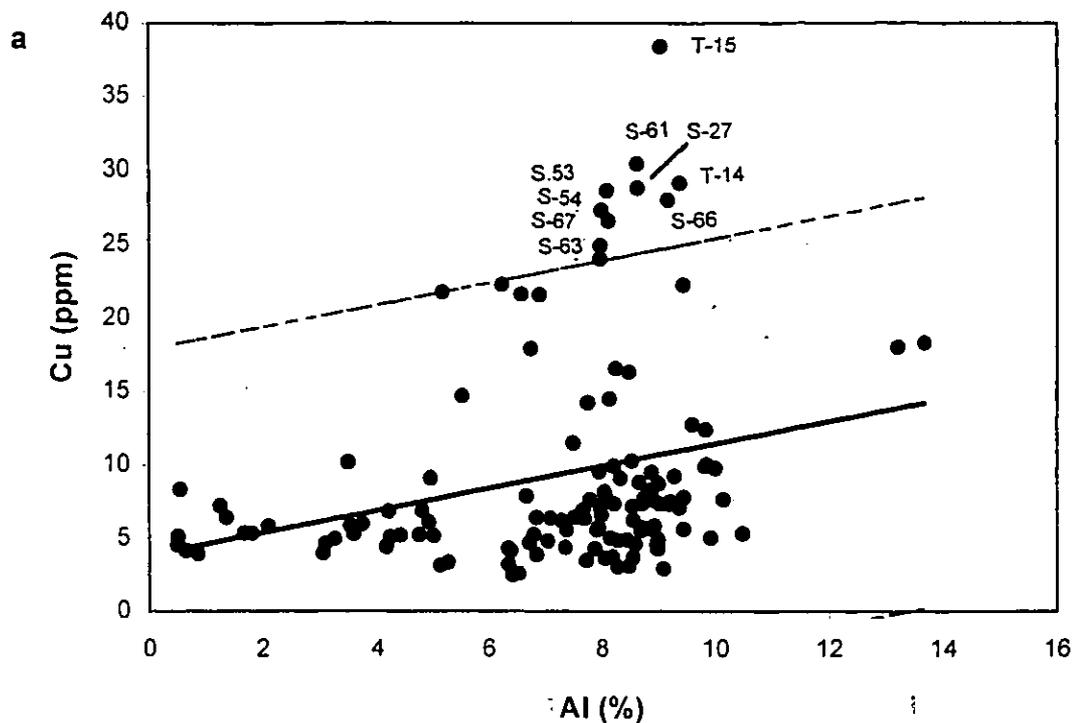


Fig. 6.11 Concentración de Cu contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

El porcentaje de Cu en la fase biodisponible de los sedimentos presenta correlación directa con la concentración de carbonatos ($r = 0.55$) e inversa con el contenido total de Al, Fe, Li y Mn. El valor promedio de la proporción biodisponible de Cu con respecto al total de cobre es de $31.8 \pm 18.8 \%$, con un máximo de hasta 91.0 y un mínimo de 7.1 %. Las estaciones R14 y R15, con alto contenido de carbonatos, también presentaron altas proporciones de este metal en dicha fase (Fig. 6.12). Asimismo, las estaciones R1 y R2, en el puerto de Pichilingue, con más del 50 % de carbonatos.

Otra estación con alto valor de cobre biodisponible en los sedimentos fue S33 (88.4 %), cerca de la desembocadura del arroyo el Cajoncito (estación T1), en donde se presenta el máximo contenido en los arroyos adyacentes, de este metal en la fase disponible para la biota (64.5 %). Este valor es más del doble de lo observado en las estaciones correspondientes a los otros arroyos que drenan hacia la laguna.

Hierro

Los porcentajes de hierro en los sedimentos superficiales de la Laguna de la Paz y región adyacente de la Bahía de La Paz variaron entre no detectable y 3.8 % con un promedio de $1.4 \pm 0.9 \%$. Las máximas concentraciones de Fe se detectaron en las estaciones S11, ubicada en el Estero de Zacatecas, S53, S54, S55, S61 y S66, localizadas en la zona de la cuenca noroeste de la laguna (Fig 6. 13a), todas ellas donde existen altos contenidos de carbono orgánico ($R = 0.29$) y, de acuerdo con Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham (1986), dominan los limos finos a medios. Nuevamente, queda en evidencia el papel importante que juegan el material orgánico y los sedimentos finos en los procesos de adsorción de los metales. Estas asociaciones también fueron encontradas por Méndez *et al.* (1998) en muestras de este mismo cuerpo de agua.

Aunado a lo anterior, Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham (1986) observaron en la región noroeste de la laguna los máximos contenidos de minerales ferromagnesianos,

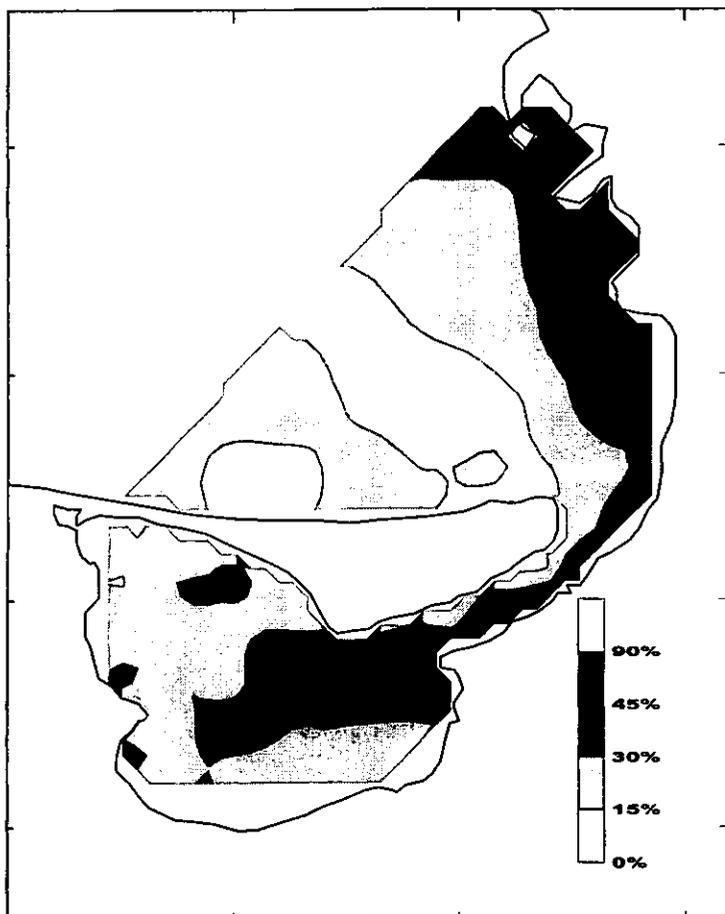


Fig. 6.12.- Distribución de la proporción de cobre biodisponible.

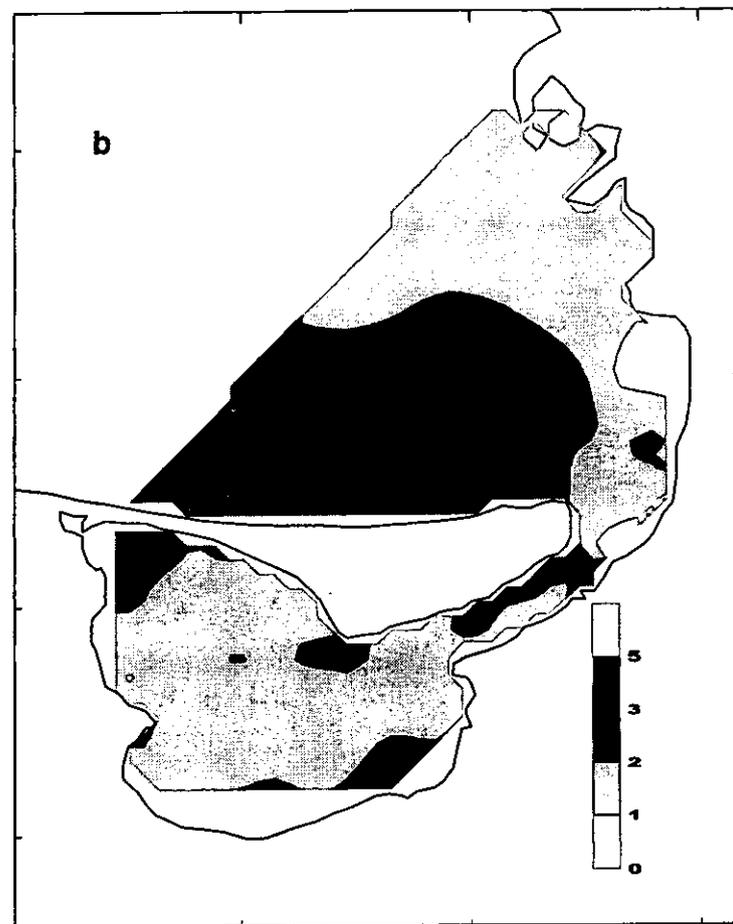
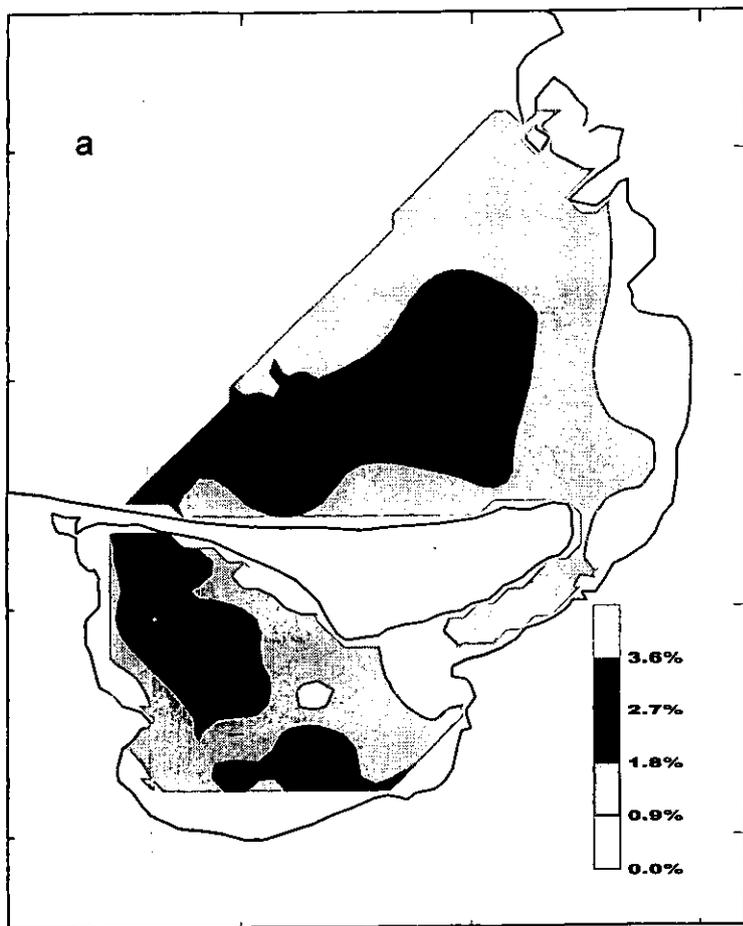


Fig. 6.13.- Distribución de a) la concentración de hierro, y b) el factor de enriquecimiento de Fe, empleando Li como elemento conservativo.

con valores de hasta 33 %. La concentración de hierro en los sedimentos se correlacionó de manera significativamente con Al (Fig. 6.14a), Co, Cr, Cu, Li (Fig. 6.14b), Mn, Ni y Zn, indicando un posible origen común entre estos metales y la importancia que tienen los óxidos de hierro y manganeso en la geoquímica de los mismos.

En cuanto al factor de enriquecimiento del Fe en relación con el Li (Buat-Ménard, 1979), los sedimentos de las estaciones S4, al norte de la laguna, S5, S6, S11, cercanas al Estero Zacatecas, presentan altos valores (Fig.6.13b), como resultado del aporte a través de dicho estero, de acuerdo al los máximos valores encontrados en las estaciones T1 y T2, las cuales presentan valores anómalos, según el criterio de Szefer *et al.* (1996), como se puede observar en la figura 6.14.

Otra zona de enriquecimiento de hierro es la parte sur de la Bahía de La Paz, representada por las estaciones R18, R19, R20, R21 y R22, sugiriendo el aporte de este metal desde las rocas fosfóricas de la Formación San Gregorio, a través de las corrientes litorales.

En lo que respecta al índice de geoacumulación (Müller, 1979), la zona de estudio puede ser catalogada como no contaminada por hierro ($I_{geo} = -2.7$), ya que incluso las estaciones que presentaron los máximos valores de la concentración total y del factor de enriquecimiento, tiene un I_{geo} menor a cero.

La fase biodisponible de hierro osciló entre 3.3 y 96.7 % de la concentración total de este elemento en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz, con un promedio de 26.5 ± 24.4 %. Las mayores proporciones se localizaron en la boca de la laguna (estaciones S36, S80, S81, S82, S83, S84), y frente al hotel la concha (estaciones R14 y R15) (Fig. 6.15), asociadas al pequeño arrecife de coral que existe en esta región, el cual provoca que existan altos contenidos de carbonatos en los sedimentos.

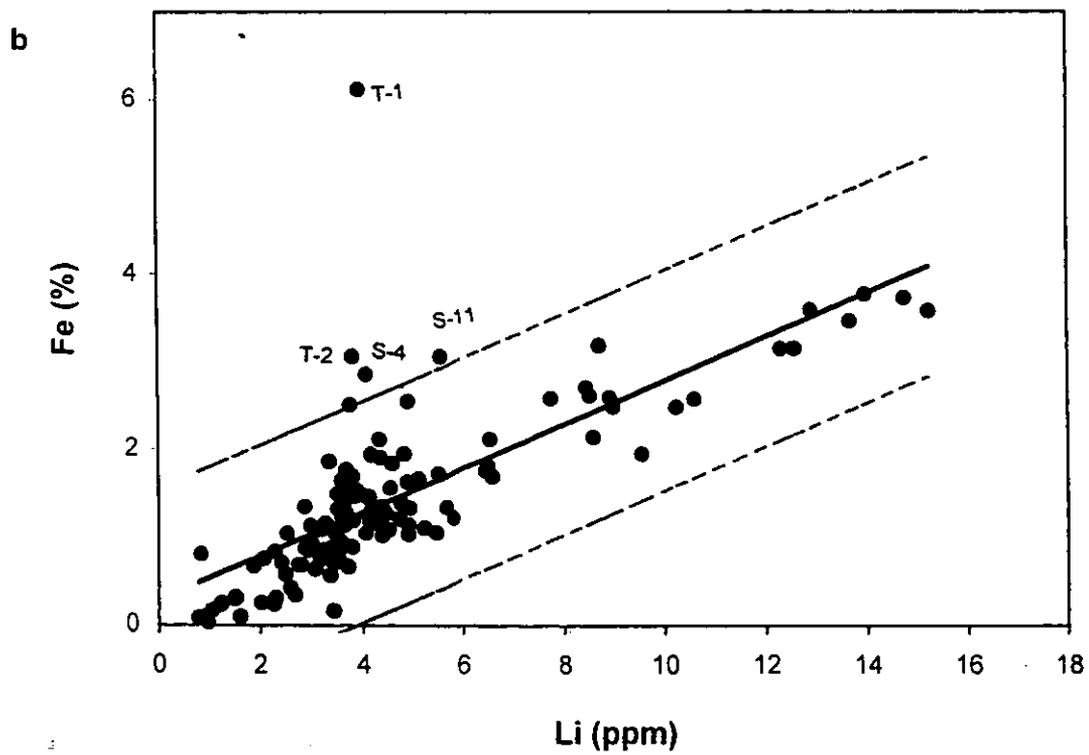
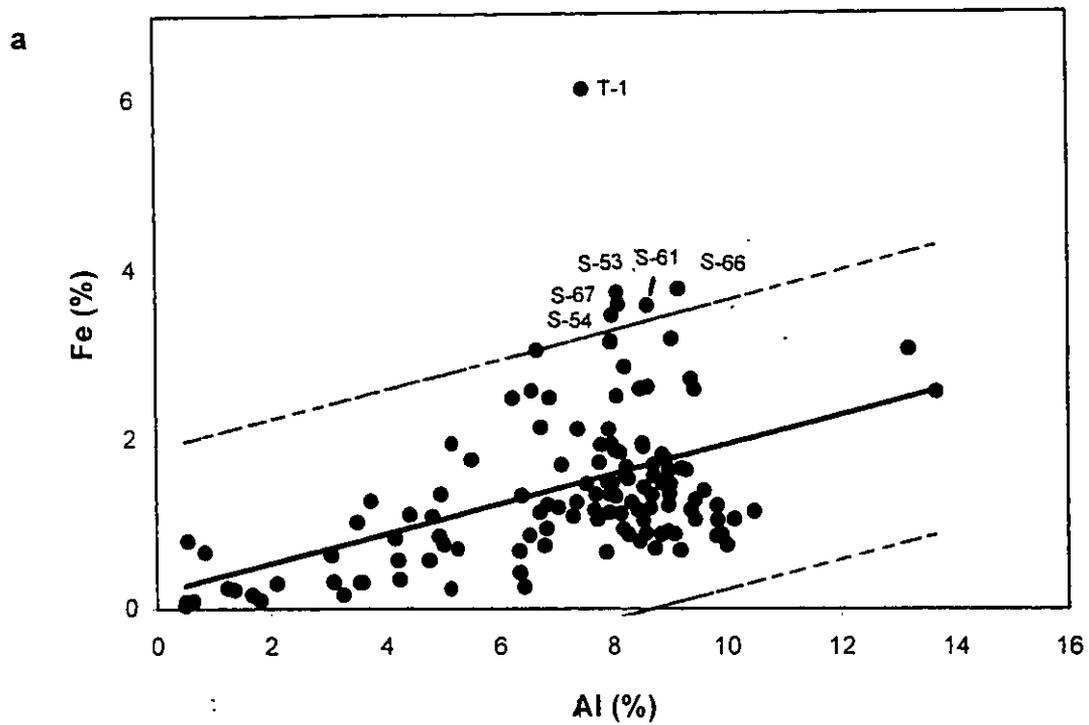


Fig. 6.14 Concentración de Fe contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

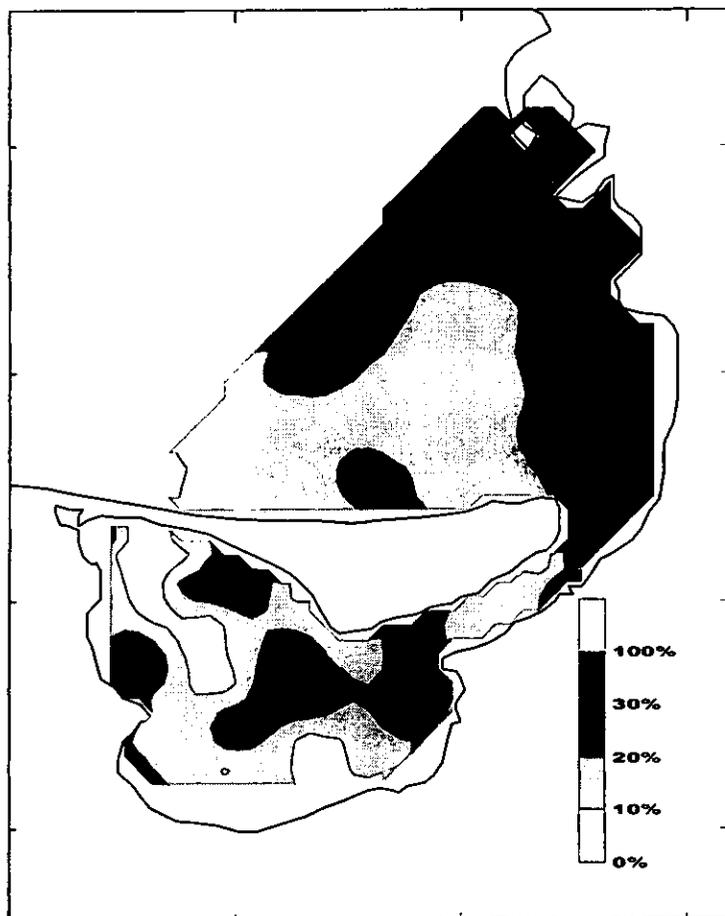


Fig. 6.15.- Distribución de la proporción de hierro biodisponible.

Al igual que Cd y Cu, el Fe biodisponible en los sedimentos se correlacionó significativamente con el carbonato y en forma inversa con Al, Fe, Li y Mn totales. Existe una alta correlación inversa entre el hierro en la fracción biodisponible y su correspondiente contenido total ($r = -0.66$), lo cual significa que entre mayor sea el contenido de hierro total menor será su fase biodisponible. Lo anterior como resultado de la alta asociación entre el Fe biodisponible y los carbonatos ($r = 0.73$) y la inversa correlación entre Fe total y carbonatos ($r = -0.49$), indicando el papel importante que juega la concentración de carbonatos en el fraccionamiento geoquímico de este metal.

Litio

La concentración de litio en los sedimentos superficiales osciló entre 0.8 y 15.2 ppm, con un promedio de 4.6 ± 3.1 ppm. Las mayores concentraciones de este metal en los sedimentos se presentaron en la región de la cuenca noroeste de la laguna, en las estaciones S53, S54, S61, S66 y S67 (Fig. 6.16), asociadas a valores altos de carbono orgánico ($r = 0.46$) y a sedimentos finos (limos). Diversos autores coinciden en que los metales pesados son concentrados en la fracción limo-arcillosa del sedimento (Loring, 1990; Jones y Turki, 1997). Además, el poco material arenoso que se presenta en dicha región, contiene altos porcentajes de minerales ferromagnesianos (Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham, 1986), sugiriendo el aporte de material terrígeno, al cual el litio puede estar asociado.

Por otro lado, las concentraciones bajas de Li en los sedimentos se presentaron donde existen altos porcentajes de carbonatos ($r = -0.40$) S80, S81, S86, R14 y R15, dado el efecto dilutor de estos últimos sobre el metal. Lo anterior explica porque las estaciones con altos contenidos de carbonatos en los sedimentos, las cuales tienen poco litio, sobresalen con factores de enriquecimiento altos para los diferentes metales aquí analizados.

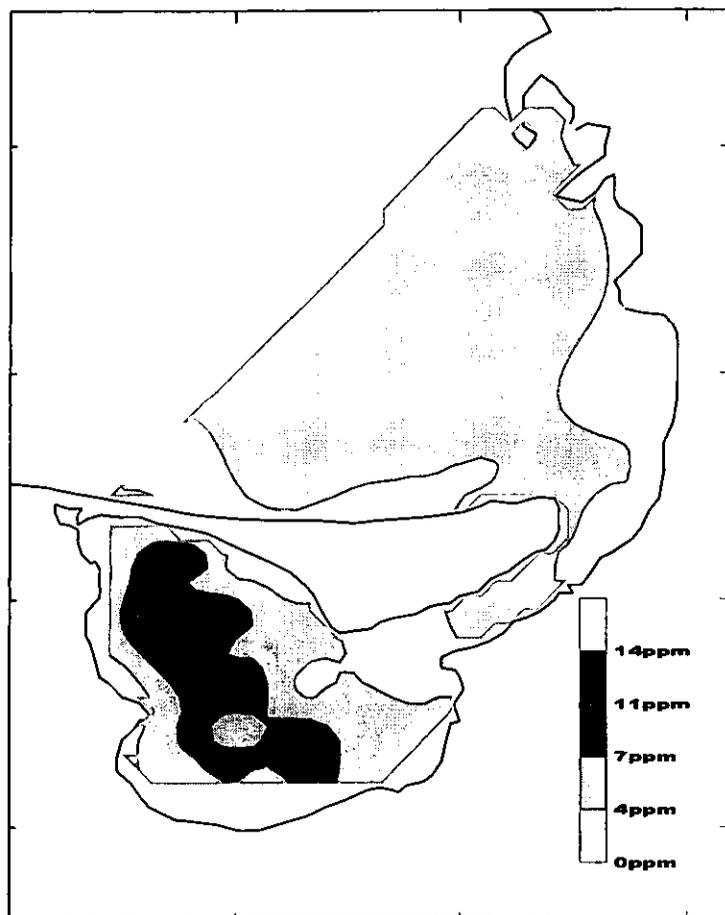


Fig. 6.16.- Distribución de la concentración de litio.

Manganeso

El contenido promedio de manganeso en los sedimentos superficiales de esta zona de estudio fue de 178 ± 98 ppm, con un valor mínimo de 29 ppm y un máximo de 565 ppm. Como se observa en la Figura 6.17a, las mayores concentraciones de este metal en el material sedimentario se localizaron prácticamente en dos regiones: (1) al noroeste de la laguna (estaciones S4, S61, S63, S66, S67) donde se encuentra la cuenca con sedimentos finos, y el aporte desde el Estero Zacatecas, dada el alto contenido observado en la estación T1 (844 ppm), y (2) en la zona sur de la Bahía de La Paz (estaciones R17, R18, R19, R20 y R22), como resultado del transporte litoral de material sedimentario de la Formación San Gregorio, donde Alvarez-Arellano y Páez-Osuna (1995) encontraron un valor de 335 ppm de Mn. Méndez *et al.* (1998) encontraron en los sedimentos concentraciones mayores de manganeso en el interior de la laguna que hacia la boca, llegando a observar niveles mayores de 250 ppm.

Las menores concentraciones de Mn en los sedimentos se asociaron con altos contenidos de carbonatos (estaciones S80, S82 y S83), los cuales diluyen el contenido de este metal. Lo anterior se refleja en la correlación inversa entre estos dos parámetros ($r = -0.39$).

Por su parte, el máximo índice de correlación que presentó el manganeso en los sedimentos fue con el Fe ($r = 0.80$), dada su íntima relación en la formación de óxidos. Asimismo, el contenido de Mn en los sedimentos se correlacionó con las concentraciones de Al ($r = 0.46$), Co, Cr, Cu, y Li ($r = 0.54$), Ni y Pb, como resultado de la capacidad de dichos óxidos de adsorber metales (Horowitz, 1991), así como un posible origen común.

Al efectuar los cálculos de factor de enriquecimiento, utilizando litio como elemento conservativo, se observó que los mayores valores se localizan en la margen noroeste de la laguna (estaciones S2, S4, S11 y S13), asociados al aporte de este metal por la desembocadura del Estero Zacatecas (Fig. 6.17b), como lo evidencia el alto factor de

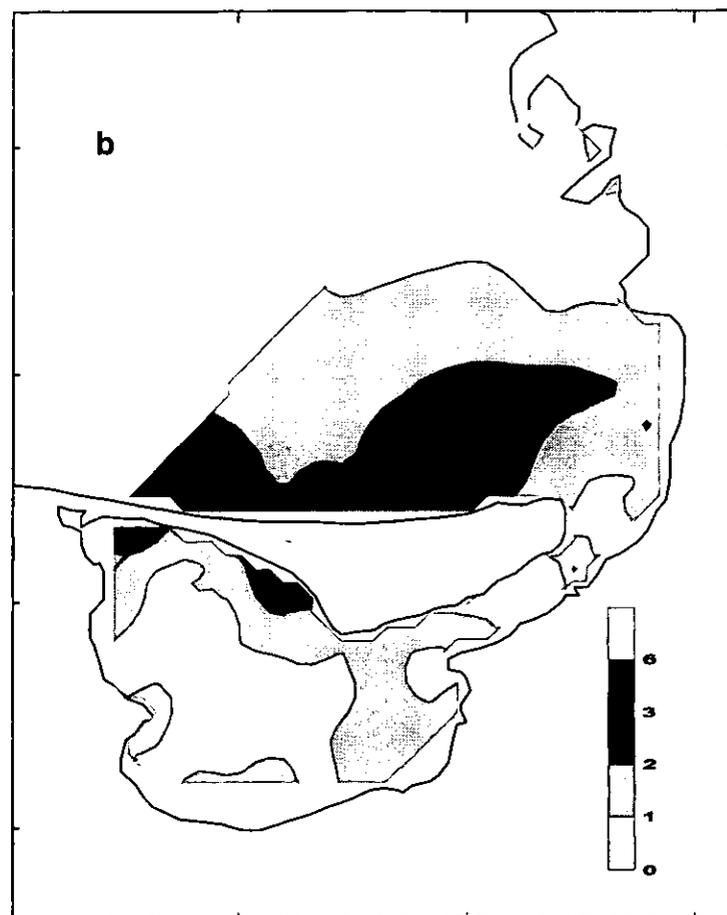
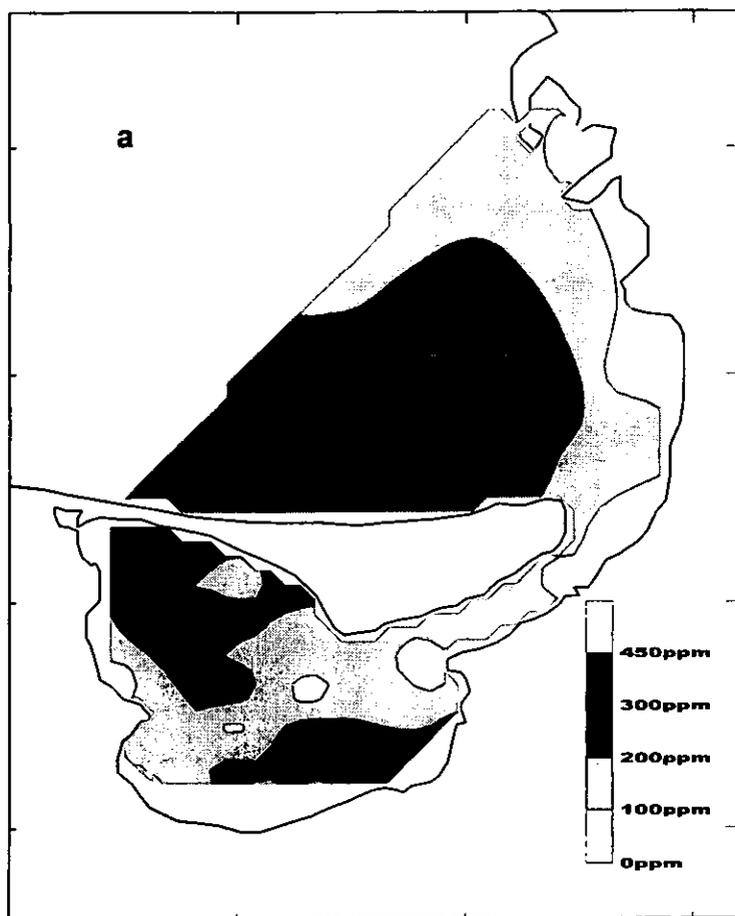


Fig. 6.17.- Distribución de a) la concentración de manganeso, y b) el factor de enriquecimiento de Mn, empleando Li como elemento conservativo.

enriquecimiento en las estaciones T1 y T2 (6.4 y 4.0, respectivamente). De hecho, las estaciones S4, S11 y T1 tienen una concentración de Mn en los sedimentos superior a la que deberían tener de acuerdo a su contenido de litio (Fig. 6.18). Sin embargo, de acuerdo con la clasificación propuesta por Müller (1979), estos sedimentos no están contaminados con Mn ($I_{geo} = -3.3$).

Níquel

La concentración de níquel osciló entre 14.1 y 55.4 ppm, con un promedio de 27.1 ± 6.2 ppm. Los máximos contenidos, asociados al aporte de este metal desde las rocas fosfóricas de la Formación San Gregorio, donde Alvarez-Arellano y Páez-Osuna (1995) encontraron un concentración de 28 ppm de níquel, se ubicaron en el Estero Zacatecas (estaciones S4 y S11) y en la parte sur de la Bahía de La Paz (estación R20) (Fig. 6.19a), los primeros a través del Estero Zacatecas y el segundo, mediante las corrientes litorales provenientes del noroeste.

Otra zona de altos valores de este metal se localizó en la cuenca noroeste (estaciones S61, S63, S64, S66 y S67), donde principalmente existen sedimentos con alto contenido de material fino (Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham, 1986), los cuales tienen la capacidad de adsorber los metales, como lo sugieren diversos autores (Loring, 1990; Jones y Turki, 1997).

Como se observa en la tabla 6.3, este metal se correlacionó significativamente con el Fe ($r = 0.73$) y el Mn ($r = 0.72$), evidenciado que también los óxidos de dichos metales juegan un papel importante en el comportamiento geoquímico del Ni. Asimismo, a excepción de Cd y Pb, todos los contenidos de metales en los sedimentos analizados en este estudio se correlacionaron significativamente con la concentración de níquel.

En cuanto a los factores de enriquecimiento, en la figura 6.19b se observa que existen principalmente dos zonas con valores mayores a 5, la primera ubicada en el noroeste de la laguna (estaciones S7, S13 y T1), nuevamente evidenciando el aporte de Ni a

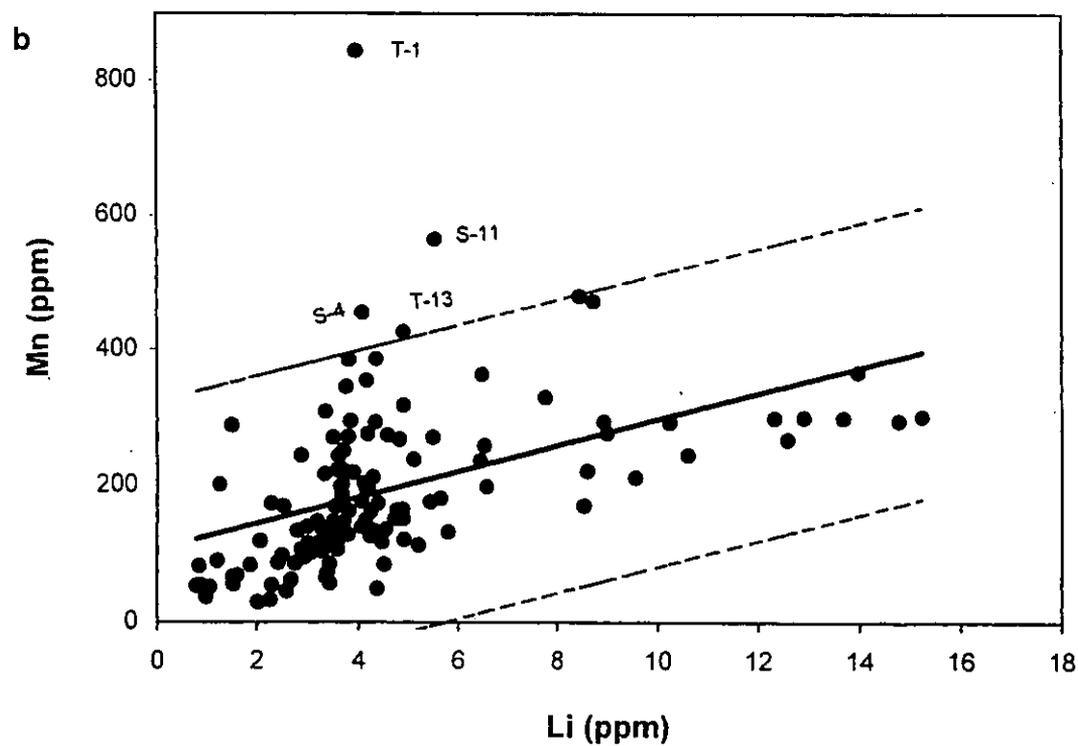
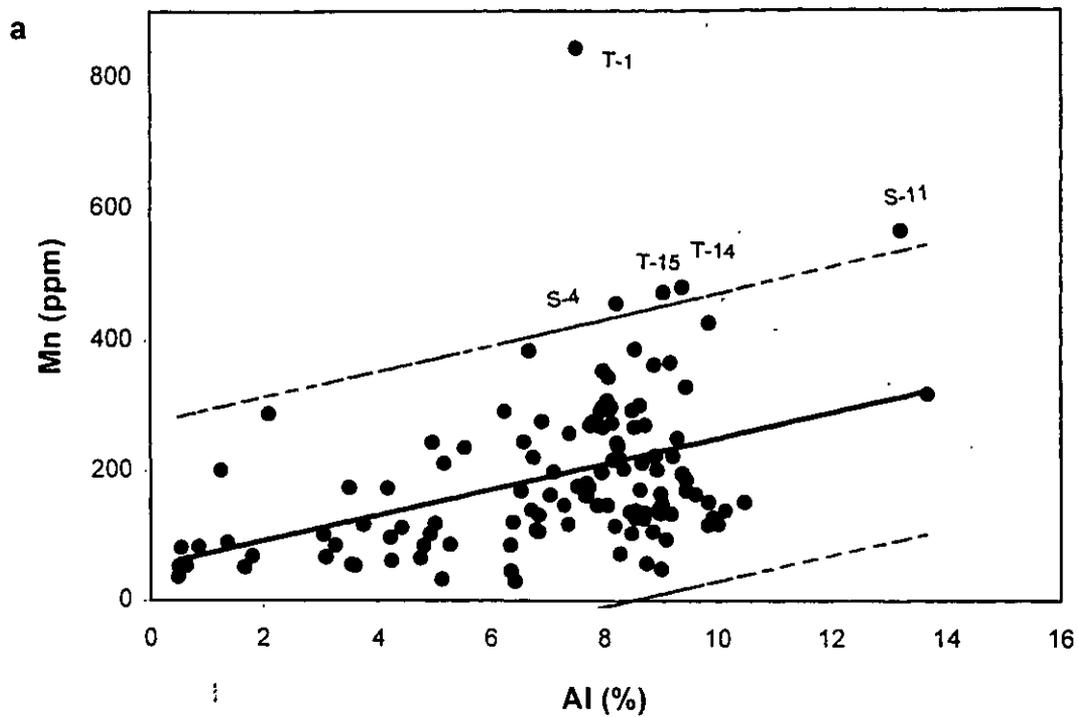


Fig. 6.18 Concentración de Mn contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

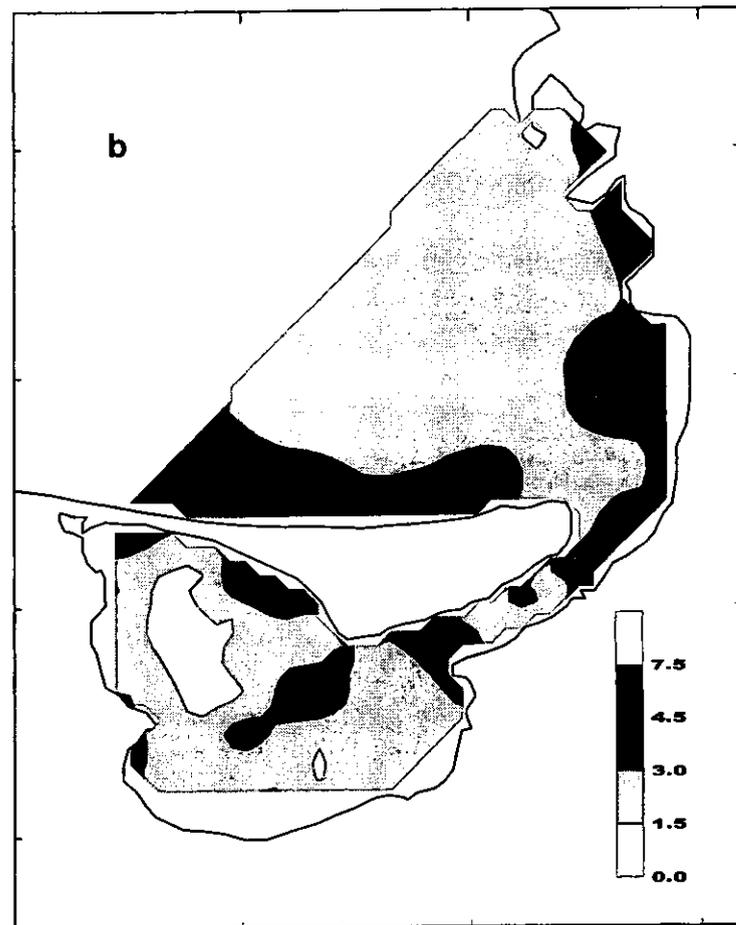
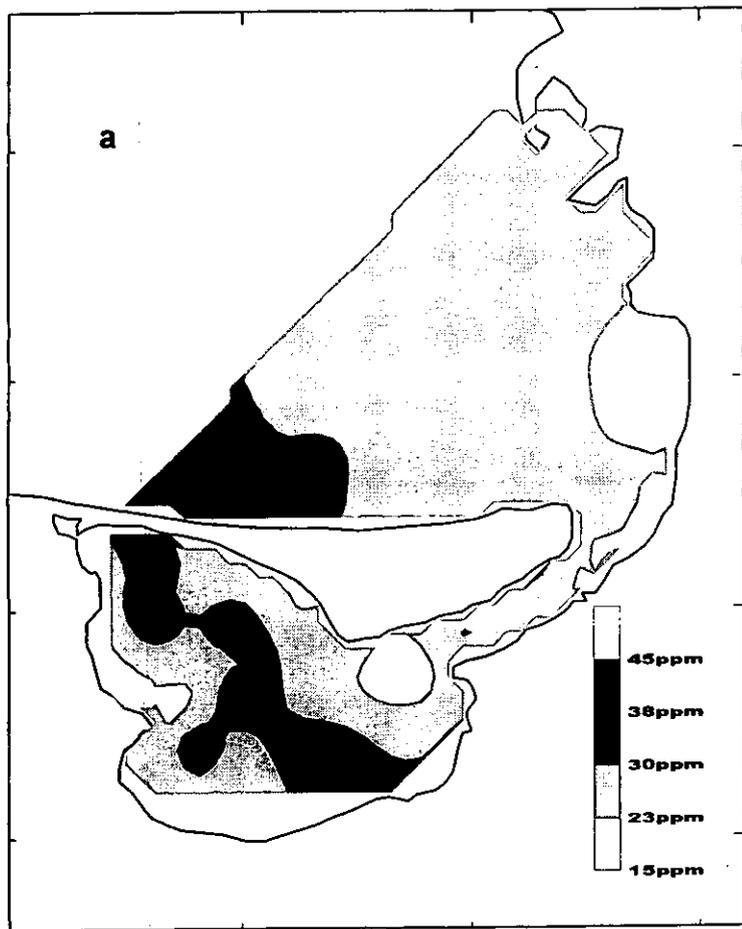


Fig. 6.19.- Distribución de a) la concentración de níquel, y b) el factor de enriquecimiento de Ni, empleando Li como elemento conservativo.

través del Estero Zacatecas; la segunda en la boca del cuerpo lagunar (estaciones S34, S80, S81, S86, R14 y R15), asociada a altos contenidos de carbonatos, los cuales posiblemente estén diluyendo la concentración de litio, el cual es empleado como elemento conservativo, mientras que existe aporte de níquel. La estación R5, ubicada en el interior del puerto de Pichilingue, presenta también un alto factor de enriquecimiento de níquel en los sedimentos ($FE_{Li} = 5.4$) y alto contenido de carbonatos (82.1 %).

Cabe hacer notar que las estaciones ubicadas en la cuenca noroeste, S61, S63, S64, S66 y S67, con concentraciones altas de níquel, presentan factores de enriquecimiento relativamente bajos (alrededor de 1).

Al efectuar el proceso de normalización sugerido por Szefer *et al.* (1996), se observa que las estaciones S4, S11, T1 y R20 tienen mayor concentración de níquel en los sedimentos que la que teóricamente les correspondería, de acuerdo con su contenido de litio (Fig. 6.20). Estas estaciones están asociadas al aporte de Ni desde las rocas fosfóricas de la Formación San Gregorio, a través del Estero Zacatecas (el caso de las tres primeras estaciones) y por las corrientes litorales (estación R20). Sin embargo, al determinar el índice de geoacumulación (Müller, 1979), ninguna estación tiene un I_{geo} mayor a cero, por lo que la zona de estudio se cataloga como no contaminada con este metal, al tener un I_{geo} promedio de -2.1 .

Plomo

La concentración promedio de plomo en los sedimentos fue de 52.7 ± 15.7 ppm, con un intervalo que varió desde 23.8 hasta 95.2 ppm. La distribución espacial de este metal se muestra en la figura 6.21a, en la cual se observa que los máximos valores se ubicaron principalmente en cuatro zonas, la primera al noroeste de la laguna, en la estación S13, asociada al aporte desde el Estero Zacatecas; la segunda en la estación S33 frente a la desembocadura del arroyo el Cajoncito; la tercera en la boca de la laguna y en el canal de navegación (estaciones S35, S38 y V41), asociadas a una marina y el tráfico de

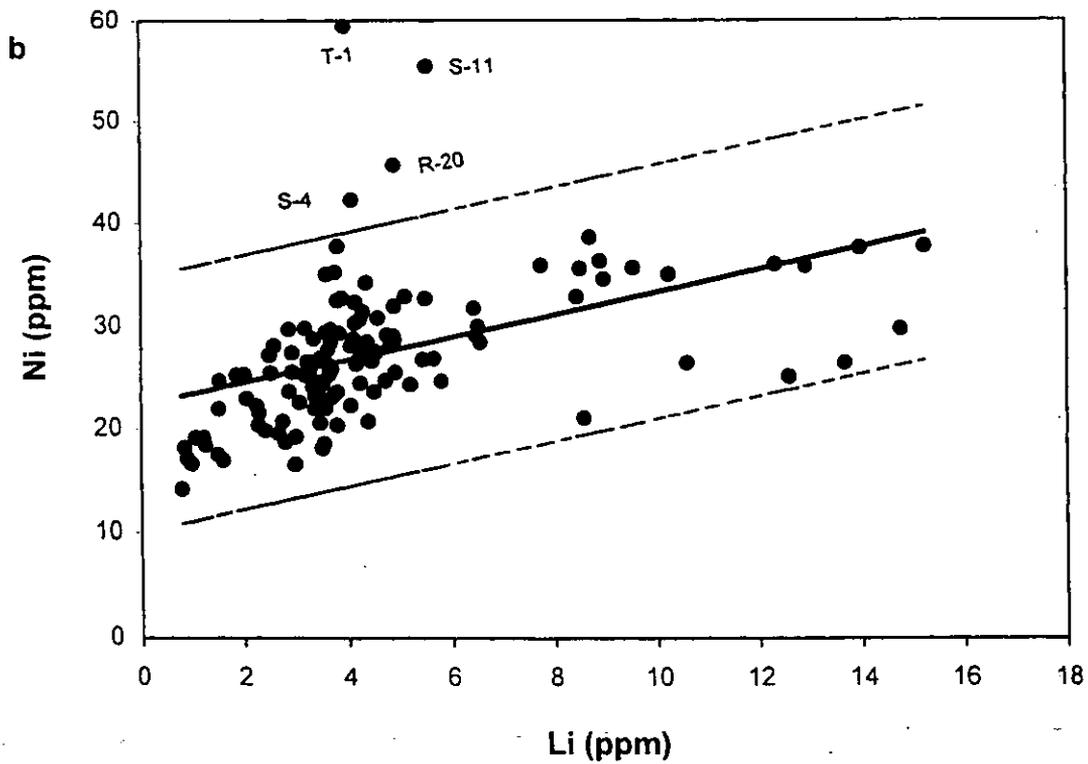
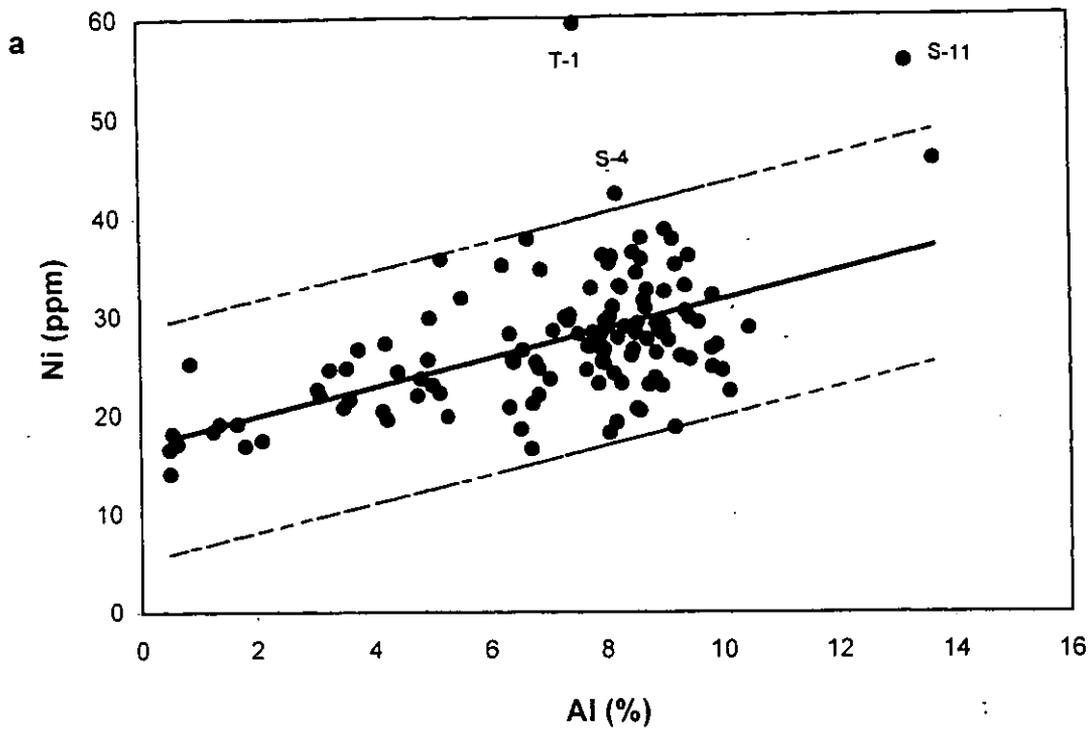


Fig. 6.20 Concentración de Ni contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

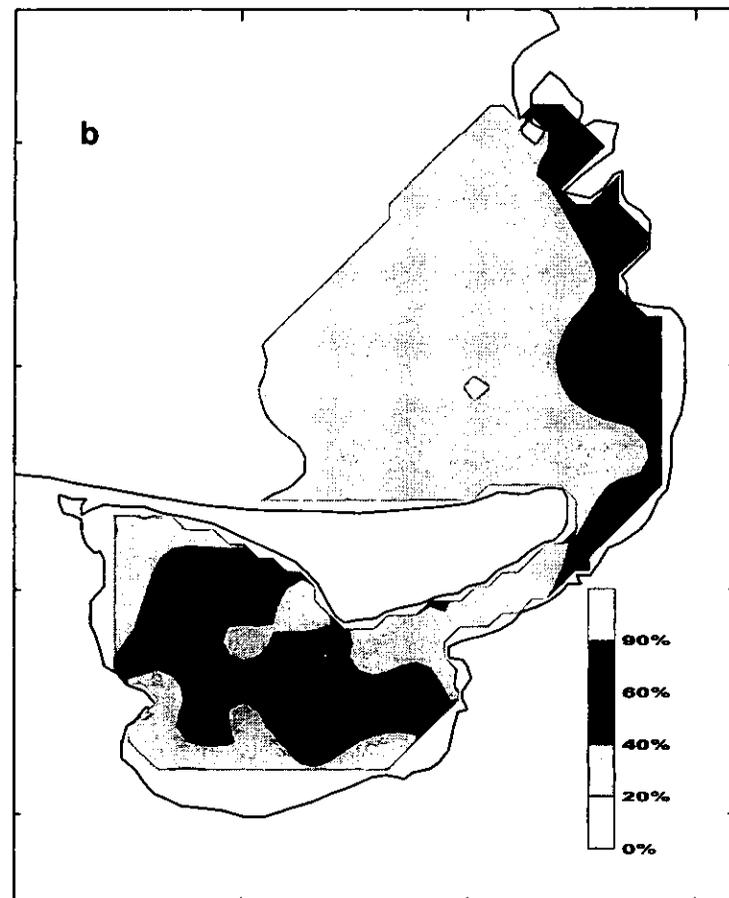
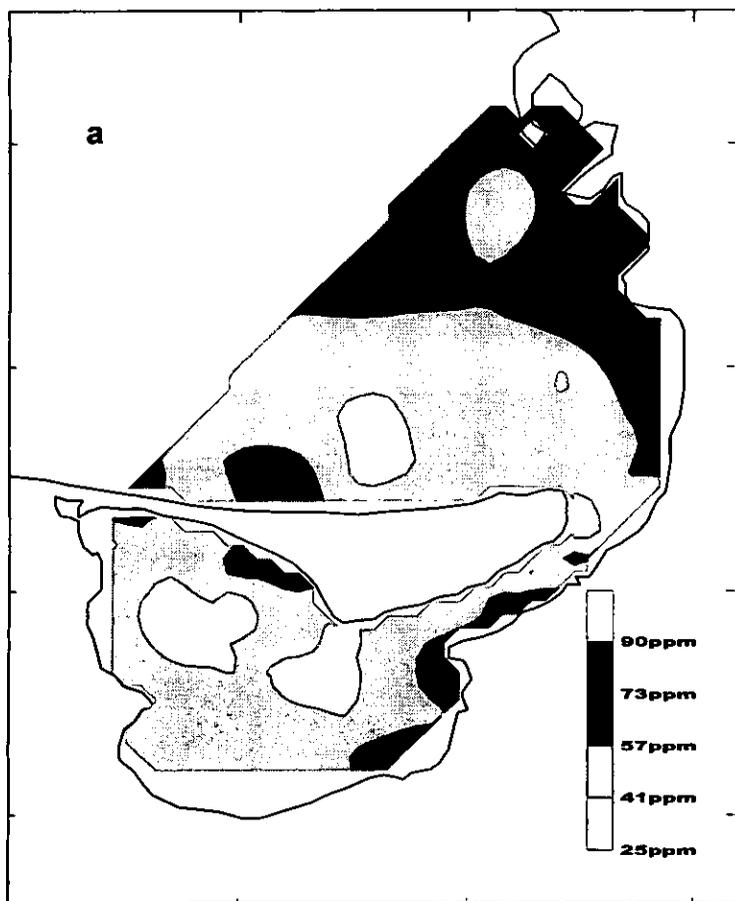


Fig. 6.21.- Distribución de a) la concentración de plomo, y b) la proporción de plomo biodisponible.

yates a través del canal. Una cuarta zona de altos contenidos de plomo se ubica en el puerto de Pichilingue (estaciones R1, R2, R4 y R6), también relacionada con el tráfico marítimo y los muelles. Al respecto, Méndez *et al.* (1998) observaron esta misma asociación, mencionando que una fuente probable de plomo podría ser los pequeños derrames de combustibles de dichas embarcaciones, así como el plomo utilizado en las pinturas anti-incrustantes.

Los valores del contenido de plomo en los sedimentos de la zona de estudio se correlacionaron significativamente con el porcentaje de carbonatos ($r= 0.39$) y carbono orgánico ($r= 0.26$) y la concentración de Cd ($r= 0.32$), y, en forma inversa, con aquellos obtenidos para Al ($r= -0.31$), Co, Cu, Fe y Li ($r = -0.30$).

El promedio de la proporción de Pb biodisponible en los sedimentos fue de 39.7 ± 19.5 %, respecto al contenido total de este metal, presentando un valor máximo 92.0 y un mínimo de 8.6 %. Los valores mayores se relacionaron con niveles altos de carbonatos ($r= 0.68$), en las estaciones V45, S52, S80, S81, S84 y R15 (Fig. 6.21b), sugiriendo que este material biogénico interviene considerablemente en su comportamiento geoquímico.

Zinc

El promedio del contenido de Zn en los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz y la región adyacente de la Bahía de La paz fue de 44.7 ± 26.1 ppm, oscilando entre valores de 2.8 a 124.8 ppm, con concentraciones mayores a 100 ppm en las estaciones S53, S54, S55, S61 y S63, en la cuenca noroeste de la laguna (Fig. 6.22a), donde existen altos niveles de carbono orgánico ($r= 0.40$) y, según Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham (1986) y se caracteriza por la presencia de sedimentos limosos, los cuales tiene la capacidad de adsorber los metales (Horowitz, 1991), como lo observaron Méndez *et al.* (1998), en muestras de este mismo cuerpo lagunar. El alto valor (104.6 ppm) encontrado en el Estero Zacatecas (estación T1), sugiere un posible aporte de Zn a través de dicho estero desde las rocas fosfóricas de la Formación San

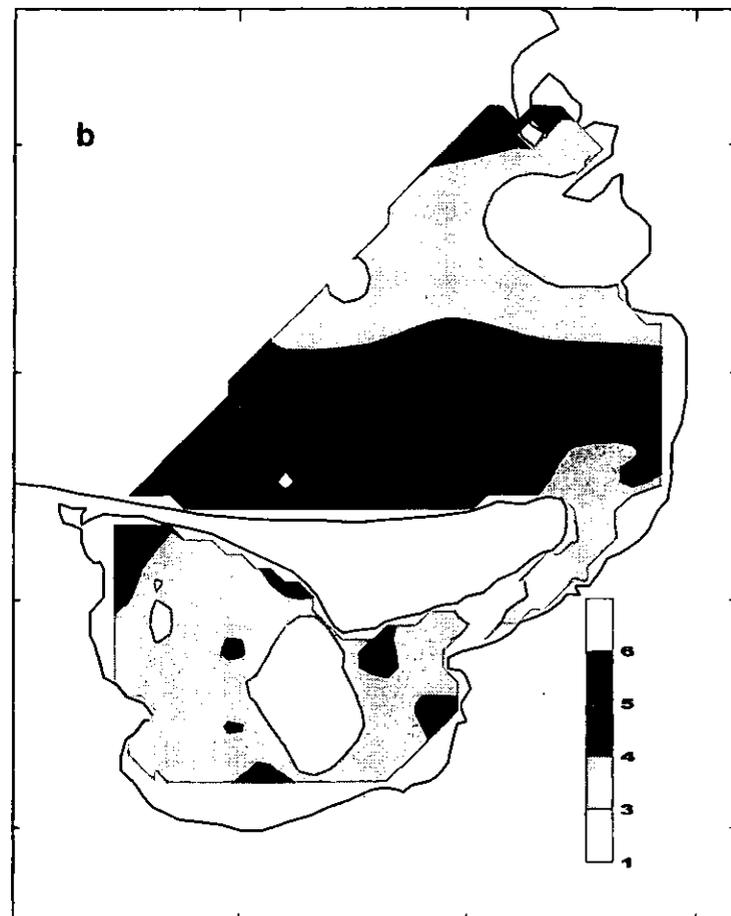
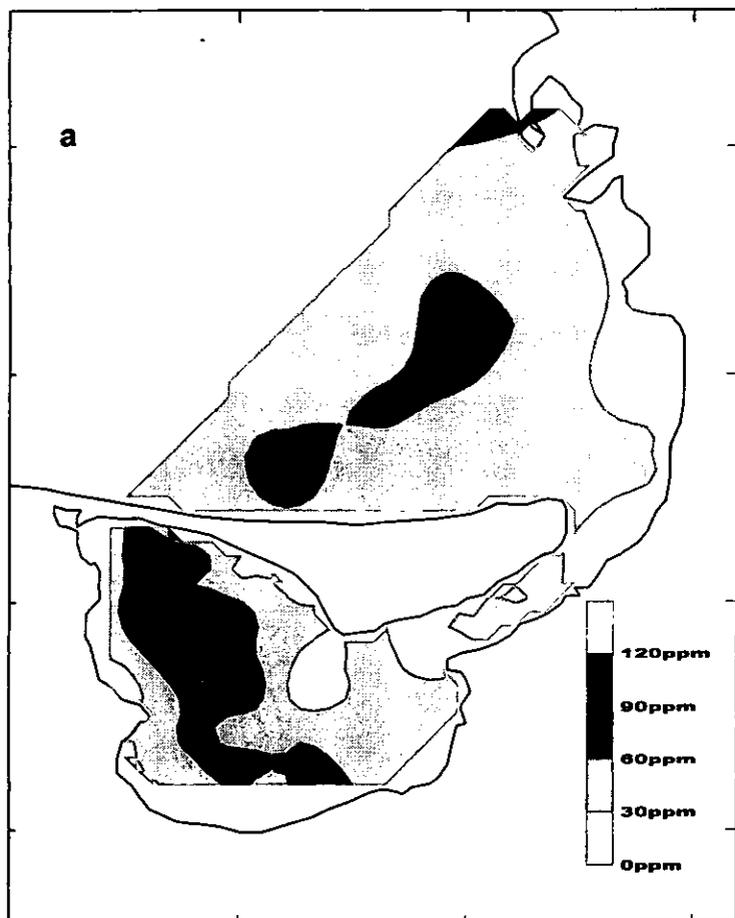


Fig. 6.22.- Distribución de a) la concentración de zinc, y b) el factor de enriquecimiento de Zn, empleando Li como elemento conservativo.

Gregorio, en las cuales Alvarez-Arellano y Páez-Osuna (1995) detectaron 93 ppm de este metal.

Las más bajas concentraciones de zinc en los sedimentos se presentaron en las estaciones S80, S81, S83, S86, R14 y R15, y están asociadas a la dilución provocada por la presencia de carbonatos ($r = -0.39$). Asimismo, el contenido de este metal en el material sedimentario se correlacionó significativamente con Fe ($r = 0.91$) y Mn ($r = 0.68$), debido a la importancia que tienen los óxidos de dichos elementos en la geoquímica del zinc.

Al calcular los factores de enriquecimiento (Buat-Ménard, 1979), se observa que los máximos valores ($FE_{Li} > 5.5$) se presentaron en las estaciones S4, S11, S14, relacionadas al aporte desde el Estero Zacatecas, como lo evidencia las estaciones T1 y T2 ($FE_{Li} = 9.9$ y 6.0 , respectivamente); R1, en el puerto de Pichilingue, posiblemente asociado a las pinturas anti-incrustantes que utilizan las embarcaciones que arriban a los muelles; y, R20 y R22, al sur de la Bahía de La Paz, como resultado del aporte de zinc desde las rocas fosfóricas de la Formación San Gregorio, a través de las corrientes litorales (Fig. 6.22b).

Las estaciones S11, R1, R20 y T1 sobresalen por tener concentraciones anómalas de zinc en los sedimentos (Fig. 6.23), al efectuar la normalización mediante el procedimiento propuesto por Szefer *et al.* (1996). Sin embargo, estas estaciones, al igual que todas las demás tiene valores del índice de geoacumulación menores a cero ($I_{geo} = -1.7$), por lo que se considera que de acuerdo a la clasificación de Müller (1979) los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz no están contaminados con Zn.

De la concentración total de Zn en los sedimentos, el porcentaje correspondiente a la fase biodisponible varió entre 5.8 y 90.2 %, presentando un promedio de 18.1 ± 15.5 %. Los máximos valores se localizaron en las estaciones S80, S81, S86 y R15 (Fig. 6.24), asociadas a altos contenidos de carbonatos, con los cuales este metal se correlacionó significativamente ($r = 0.69$), indicando que, si bien los carbonatos no juegan un papel

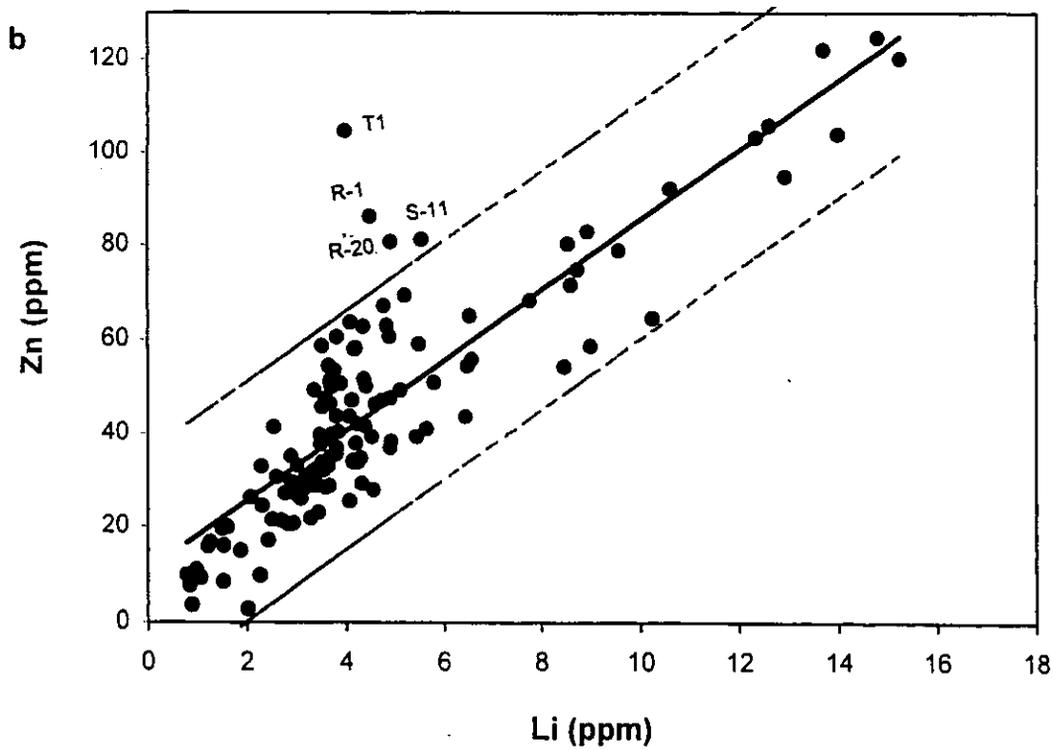
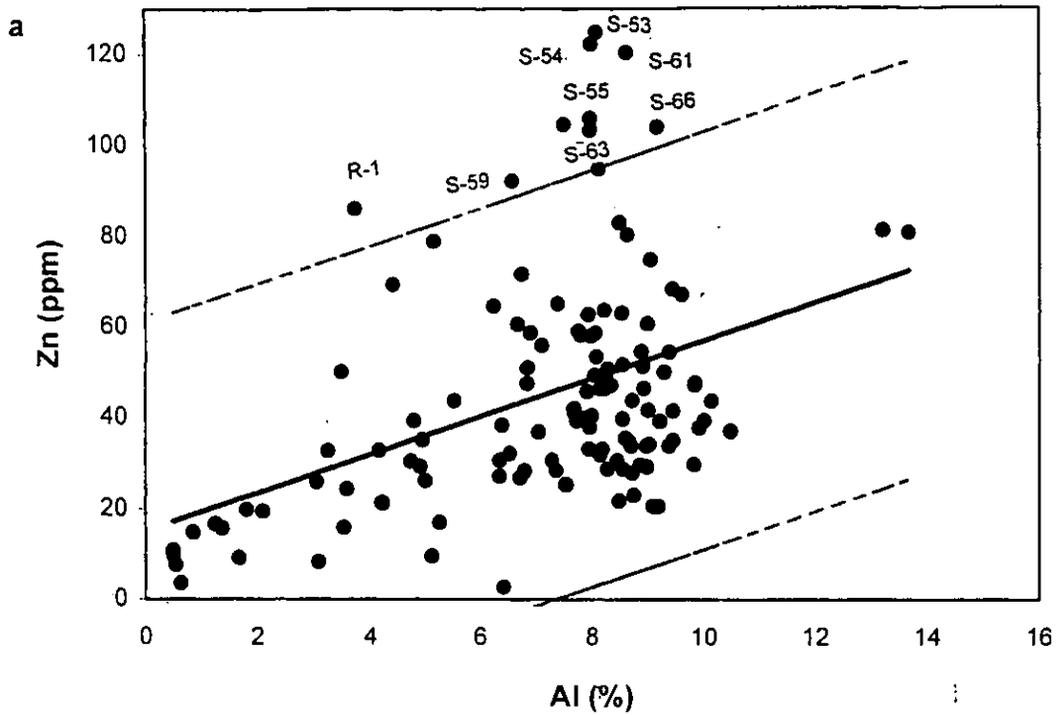


Fig. 6.23 Concentración de Zn contra a) Al, y b) Li. Línea de regresión (continua) y límites de confianza 95 % (2 veces la desviación estándar).

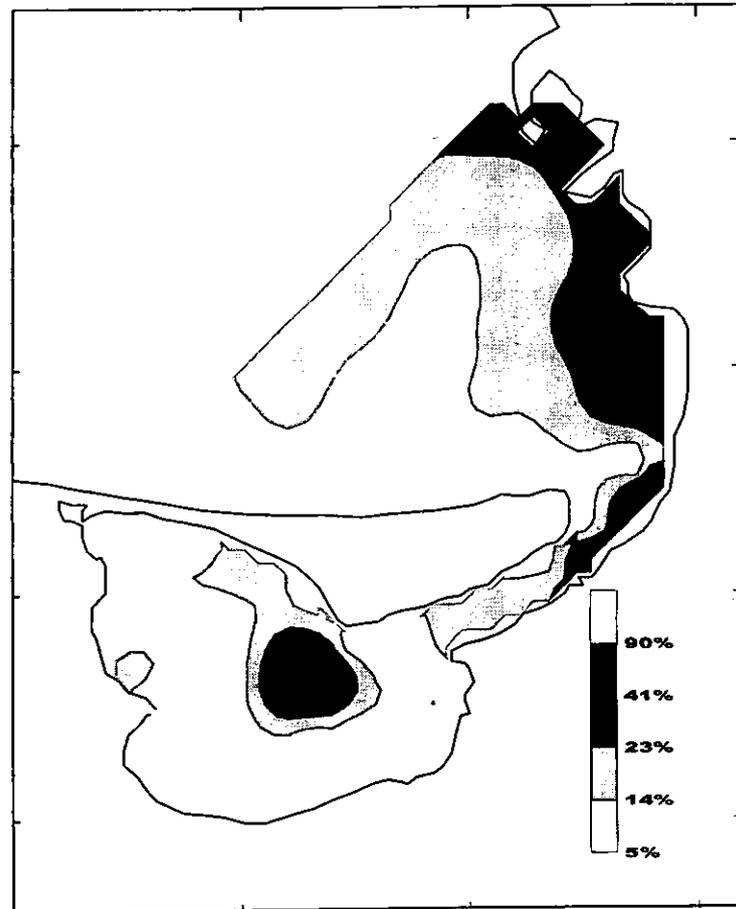


Fig.6.24.- Distribución de la proporción de zinc biodisponible.

preponderante en los procesos de adsorción y desadsorción del zinc en la Laguna de La Paz, si interviene significativamente en su fraccionamiento; al menos en lo que respecta a la fase biodisponible.

6.4 Análisis de componentes principales

Dado el número de parámetros aquí analizados, se procedió a utilizar un análisis de componentes principales con la finalidad de agrupar elementos, áreas de altas concentraciones y algunos procesos físicos, que pudiesen controlar las distribuciones espaciales de los contenidos, las acumulaciones y las fuentes de aporte de los metales pesados en los sedimentos de la Laguna de La Paz.

En la tabla 6.7 se observa que tres componentes principales explican el 80.2 % de la varianza, siendo mínimo el incremento al realizar el análisis con mayor número de componentes. El componente 1 (C1) explica el 49.2 % de la varianza y se caracteriza por tener una carga alta positiva (0.63), para el contenido de carbonatos y cargas negativas (< -0.68) para Al, Co, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Zn (Tabla 6.8), lo que sugiere una fuerte correlación entre estos metales debido a su origen común (terrágeno), así como lo susceptibles que son las concentraciones de estos elementos al efecto de dilución de los carbonatos, con origen totalmente opuesto (marino).

En el segundo componente (C2), el cual explica el 16.5 % de la varianza, únicamente sobresale el carbono orgánico, con una carga negativa alta (-0.81). El tercer componente (C3), representa la independencia del contenido de Cd con respecto a los otros parámetros analizados, con una carga positiva alta (0.87) y explicando el 14.5 % de la varianza. De hecho, este metal sólo se correlacionó significativamente con los carbonatos ($r= 0.39$), el Cr ($r= 0.41$), el plomo ($r= 0.32$) y, en forma inversa, con el litio ($r= -0.25$). Este tercer componente probablemente se relaciona con la influencia de los aportes de cadmio por los productos de erosión de las rocas fosfáticas en la cuenca de drenaje occidental de la Bahía de La Paz.

Tabla 6.7.- Análisis de componentes principales para la concentración total de los metales pesados, carbonatos y carbono orgánico.

Eigenvectores		Extracción de los componentes principales		
Componente	Eigenvalor	% Varianza total	Eigenval acumul.	% acumulativo
1	6.4	49.2	6.4	49.2
2	2.1	16.5	8.5	65.7
3	1.9	14.5	10.4	80.2

Tabla 6.8.- Cargas de los parámetros en los tres componentes principales.

	C1	C2	C3
CO ₃ ⁼	0.63		
C-org		-0.81	
Al	-0.69		
Cd			0.87
Co	-0.87		
Cu	-0.78		
Fe	-0.96		
Li	-0.82		
Mn	-0.82		
Ni	-0.82		
Zn	-0.87		

Al graficar las cargas de las estaciones del componente C1 (Anexo XXXIV) contra las del C2 (Fig. 6.25), se pueden diferenciar de entre el total de estaciones, tres pequeños grupos. El primero incluye a las estaciones S53, S54, S55, S57, S61, S63, S66 y S67 con cargas negativas altas de ambos componentes, las cuales presentaron bajas concentraciones de carbonatos y altos contenidos de Al, Co, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Zn y

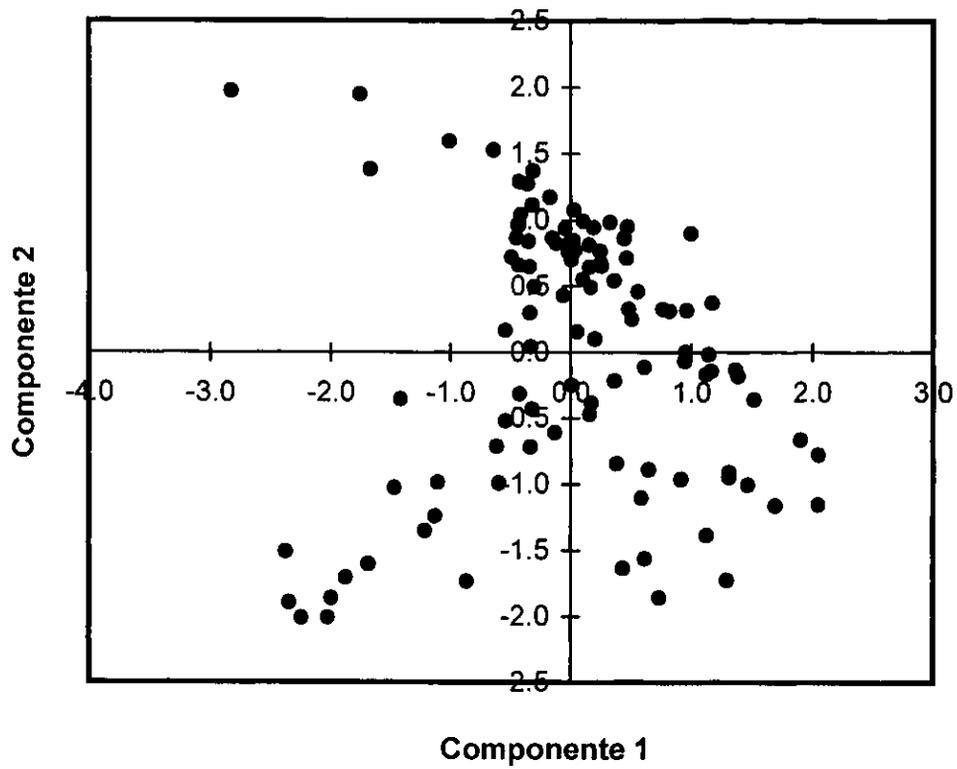


Fig. 6.25.- Análisis de componentes principales en sedimentos de La Paz, BCS.

carbono orgánico (Tabla 6.9), situadas en la cuenca noroeste de la laguna, donde de acuerdo con Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham (1986) el sedimento dominante es el limo.

Tabla 6.9.- Características de los tres grupos definidos a partir del análisis de componentes principales (promedio de los parámetros analizados).

	Grupos		
	1 (Cuenca noroeste)	2 (Puerto Pichilingue)	3 (Estero Zacatecas)
CO ₃ (%)	13.0 ± 12.8	64.8 ± 12.8	22.1 ± 16.1
C-org (%)	2.4 ± 0.3	2.9 ± 0.7	0.5 ± 0.4
Al (%)	7.9 ± 1.2	3.4 ± 1.5	9.6 ± 3.3
Co (ppm)	47.1 ± 4.6	26.9 ± 2.4	52.7 ± 13.7
Cu (ppm)	26.5 ± 2.8	5.4 ± 1.1	11.7 ± 5.1
Fe (%)	3.3 ± 0.6	0.9 ± 0.4	2.2 ± 0.7
Li (ppm)	13.1 ± 1.8	3.9 ± 1.3	4.3 ± 0.9
Mn (ppm)	292 ± 43.0	96 ± 17	373 ± 122
Ni (ppm)	33.1 ± 5.1	24.9 ± 1.1	40.0 ± 9.7
Zn (ppm)	106.8 ± 15.5	48.5 ± 28.8	59.4 ± 19.2

El segundo grupo está constituido por las estaciones R1, R2, R4, R5 y R6, localizadas en el puerto de Pichilingue y asociadas a la propia actividad portuaria, con cargas positivas de C1 y negativas altas de C2, las cuales también tienen altos contenidos de carbono orgánico pero, contrariamente al grupo anterior, bajas concentraciones de los metales mencionados y relativamente altos porcentajes de carbonatos. El tercer grupo está compuesto por las estaciones S4, S5, S6, S11, que se encuentran en el Estero Zacatecas, y R20, en la zona sur de la Bahía de La Paz, las cuales reflejan el aporte

eólico o a través de las corrientes litorales, del material proveniente de las rocas fosfóricas de la Formación San Gregorio. Este último grupo de estaciones se caracteriza por tener altas cargas negativas de C1 y positivas de C2, lo que significa que, al igual que el grupo 1, tienen baja concentración de carbonatos y altas de los metales ya mencionados, pero con niveles bajos de carbono orgánico.

CAPITULO 7

ANALISIS COMPARATIVO

7.1 Comparación de las concentraciones entre los cuatro puertos estudiados y otros cuerpos de agua en el mundo

Con el propósito de conocer las diferencias significativas de los parámetros aquí determinados entre cada una de las zonas de estudio, se elaboró la tabla 7.1, con los promedios y desviaciones estándar correspondientes y se realizó una prueba de "t" de student's, observándose que el contenido de la fracción fina ($< 62 \mu\text{m}$) de los sedimentos muestreados en la Guaymas fue mayor al de Ohuira y Topolobampo, que a su vez fue mayor al de Mazatlán, lo cual hay que tener en consideración al comparar cada parámetro.

El contenido mineralógico de la fracción arcillosa es similar en los tres cuerpos de agua donde se realizó este análisis, dominando la caolinita, seguida por la illita y finalmente la montmorillonita, la cual presentó con un porcentaje menor a 10.

En cuanto a la concentración de carbonatos, sólo la Laguna de La Paz, incluyendo la región sur de la Bahía de La Paz y la Bahía de Guaymas presentan una diferencia significativa, existiendo el mayor contenido en La Paz, donde hay un pequeño arrecife coralino, el cual eleva los valores de este parámetro. Los otros dos cuerpos de agua tienen una concentración promedio intermedia entre la Laguna de La Paz y la Bahía de Guaymas, pero no sus diferencias no son significativas. En tanto que respecto al contenido de carbono orgánico, únicamente el sistema lagunar de la Bahías de Ohuira y Topolobampo y la Laguna de La Paz no presentaron diferencias significativas, encontrándose el menor en los sedimentos Mazatlán, lo que era de esperarse dado su bajo porcentaje de sedimento fino y el mayor en Guaymas.

La concentración de aluminio fue significativamente menor en los sedimentos de las Bahías de Ohuira y Topolobampo en relación con la determinada en los otros cuerpos

de agua. Se ha considerado que este elemento se comporta conservativamente en el ambiente, por lo que su presencia está en función de las características litológicas de cada región. Los niveles de Al detectados son similares a los encontrados en la Laguna de Mitla, Oax. (Páez-Osuna *et al.*, 1987), en la Laguna de Alvarado, Ver. (Rosales-Hoz *et al.*, 1986a) y en el Estero de Urías (Soto-Jiménez, 1998) (Tabla 7.2), y en los estuarios St. Lawrence, Canadá (Loring, 1990) y Gangolli, India (Pandarinath y Narayana, 1992) (Tabla 7.3).

En lo que respecta al cadmio, en la Bahía de Guaymas se presentó significativamente el mayor promedio, seguido por la Laguna de La Paz y la Bahía de Mazatlán, en tanto que el menor contenido se detectó en los sedimentos de Ohuira y Topolobampo. Estos valores son mayores a los detectados en otras localidades de México y son menores a los encontrados en sedimentos contaminados del mar Clyde, Gran Bretaña (Forstner, 1980), en el Golfo de Aqaba, Jordania (Abu-Hilal, 1993), Barcelona, España (Palanquez y Díaz, 1994) y estuario Tees, Gran Bretaña (Jones y Turki, 1997). Las fuentes principales de aporte son el emisor de aguas municipales y las surgencias en la Bahía de Mazatlán; la descarga de las aguas municipales de la ciudad de Topolobampo y parcialmente de Los Mochis, así como el empleo de fertilizantes en la zona agrícola de las Bahías de Ohuira y Topolobampo; la presencia de rocas fosfóricas con alto contenido de este metal y su respectiva explotación al noroeste de la Laguna de La Paz, cuyos materiales son erosionados y transportados eólicamente o a través de las corrientes litorales. Aún cuando en la Bahía de Guaymas, no se pudieron detectar las fuentes de aporte de Cd, los mayores valores se presentaron en la zona donde se ubica la mancha urbana, por lo que se puede inferir, que están asociados a la descarga de drenes de aguas municipales.

Referente a la proporción de la fracción biodisponible de cadmio respecto a su contenido total en los sedimentos, esta fue significativamente menor en la Bahía de Mazatlán (Tabla 7.4), observándose que los valores de la concentración de Cd en dicha fracción son similares a los encontrados en la Bahía de San Quintín, B. C. (Gutierrez-Galindo *et al.*, 1991; en el Río Coatzacoalcos, Ver. (Rosales-Hoz y Carranza-Edwards,

1998) y en las costas polacas del mar Báltico (Szefer *et al.*, 1995) (Tabla 7.5).

Tabla 7.1.- Promedio y desviación estándar de las concentraciones de sedimento fino, minerales arcillosos, carbonatos, carbono orgánico y metales totales en sedimentos superficiales de los cuatro puertos del Golfo de California

	Mazatlán	Ohuira y Topolobampo	Guaymas	La Paz
< 62 μm (%)	24.2 \pm 14.2 ^{ab}	43.3 \pm 33.7 ^{ad}	67.7 \pm 34.7 ^{bd}	
Montmorillonita (%)	6.2 \pm 4.5	5.2 \pm 3.2	8.2 \pm 5.6	
Illita(%)	40.3 \pm 13.8	43.2 \pm 5.3	45.3 \pm 11.9	
Caolinita (%)	53.5 \pm 11.9	51.6 \pm 5.6	46.5 \pm 13.3	
Carbonatos (%)	17.4 \pm 21.7	20.7 \pm 24.3	10.5 \pm 10.7 ^f	26.8 \pm 23.8 ^f
C-orgánico (%)	0.3 \pm 0.2 ^{abc}	1.1 \pm 0.9 ^{ad}	2.9 \pm 1.9 ^{bdf}	1.1 \pm 0.9 ^{cf}
Al (%)	6.9 \pm 1.9 ^a	4.9 \pm 1.7 ^{ade}	7.0 \pm 1.4 ^d	7.0 \pm 2.7 ^e
Cd (ppm)	3.2 \pm 0.5 ^b	2.8 \pm 0.8 ^{de}	4.1 \pm 0.9 ^{bdf}	3.5 \pm 0.9 ^{ef}
Co (ppm)	40.3 \pm 7.3	39.7 \pm 10.0	38.9 \pm 5.7	36.9 \pm 10.1
Cr (ppm)	31.0 \pm 7.2	29.9 \pm 11.9	32.3 \pm 12.0	33.2 \pm 28.3
Cu (ppm)	6.3 \pm 3.1 ^{abc}	8.5 \pm 3.8 ^{ad}	52.7 \pm 50.1 ^{bdf}	9.1 \pm 6.9 ^{cf}
Fe (%)	2.6 \pm 0.7 ^{ac}	1.9 \pm 0.7 ^{ae}	2.3 \pm 0.9 ^f	1.4 \pm 0.9 ^{cef}
Li (ppm)	7.5 \pm 1.9 ^c	8.9 \pm 3.5 ^e	8.5 \pm 3.6 ^f	4.6 \pm 3.1 ^{cef}
Mn (ppm)	569 \pm 132 ^{bc}	506 \pm 267 ^{de}	257 \pm 83 ^{bdf}	178 \pm 98 ^{cef}
Ni (ppm)	23.1 \pm 6.6 ^{abc}	35.6 \pm 8.0 ^{ade}	40.8 \pm 9.5 ^{bdf}	27.1 \pm 6.2 ^{cef}
Pb (ppm)	64.2 \pm 17.2 ^{ac}	53.1 \pm 11.2 ^a	66.2 \pm 34.1 ^f	52.7 \pm 15.7 ^{cf}
Zn (ppm)	82.2 \pm 19.8 ^{abc}	61.6 \pm 20.8 ^{ade}	162.8 \pm 136.5 ^{bdf}	44.7 \pm 26.1 ^{cef}

Diferencias significativas entre ^a Mazatlán y Ohuira-Topolobampo, ^b Mazatlán y Guaymas, ^c Mazatlán y La Paz, ^d Ohuira-Topolobampo y Guaymas, ^e Ohuira-Topolobampo y La Paz, ^f Guaymas y La Paz.

Tabla 7.2.- Intervalos o promedio de concentración de metales pesados en sedimentos de diversas localidades de México y de los cuatro puertos del Golfo de California. Unidades en ppm, excepto Al y Fe (%).

Localidad	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Zn
Laguna Ceuta, Sin. ¹	----	1.8	12	7	9	1.2		333	10	13	27
Laguna Chautengo, Oax. ²	----	2.4	30	56	35	4.1		580	47	----	91
Pto. de Mazatlán, Sin. ³	----	1.2	15	29	20	2.2		----	17	30	85
Laguna Alvarado, Ver. ⁴	1.8-8.8	----	N D-48	24-627	11-32	1.1-10.5		301-1710	16-113	18-40	26-169
Río Papaloapan, Ver. ⁵	1.3-13.8	----	N D-23	31-124	14-32	0.8-3.0		167-1183	23-87	N D-39	7-89
Laguna Mitla, Oax. ⁶	5.5	----	13	121	55	4.1		769	44	9	103
Boca Golfo de California ⁷		0.9-5.2	12-99	20-118	2-336	2.8-6.1		421-33520	10-398	26-54	82-445
Pto. Salina Cruz, Oax. ⁸	----	----	----	20-88	----	----		----	11-99	7-85	----
Laguna Sontecomapan, Ver. ⁹	----	N D-1.7	14-35	70-86	22-40	----		----	74-125	12-34	42-66
Cuenca de Bahía San Quintín, B. C. ¹⁰	----	10.0	----	N D-150	10-50	----		----	20-40	----	30-40
Formación San Gregorio, B. C. S. ¹¹		14	12	335	16			67	28		93
Altata-Ensenada del Pabellón, Sin. ¹²	4.6	0.5	17	16	29	5.4	19.1	925	15	121	80
Estero de Urías, Sin. ¹³	0.9-7.8	0.4-1.5	5-18	8-43	8-91	1.4-9.5	6.0-34.2	158-678	6-30	15-131	46-348
Coatzacoalcos, Ver. ¹⁴		2.1-2.7		19-153	5-141				13-77	21-53	16-165
Frontera Baja California y California ^{a 15}	5.7	0.2		137	13	2.7		889	25	13.6	68
Mazatlán (este estudio)	6.9	3.2	40	31	6	2.6	7.5	569	23	64	82
Ohuira y Topolobampo (este estudio)	4.9	2.8	40	30	9	1.9	8.9	506	36	53	62
Guaymas (este estudio)	7.0	4.1	39	32	53	2.3	8.5	257	41	66	163
La Paz (este estudio)	7.0	3.5	37	33	9	1.4	4.6	178	27	53	45

^a Limos y arcillas

(1) Osuna-López, 1981; (2) Páez-Osuna et al., 1984; (3) Osuna-López et al., 1986; (4) Rosales-Hoz et al., 1986a; (5) Rosales-Hoz et al., 1986b; (6) Páez-Osuna et al., 1987; (7) Páez-Osuna y Osuna-López, 1990c; (8) Pica-Granados et al., 1994; (9) Ponce et al., 1994; (10) Rosales-Hoz et al., 1994; (11) Alvarez-Arellano y Páez-Osuna, 1995; (12) Green-Ruiz, 1996; (13) Soto-Jiménez, 1998; (14) Rosales-Hoz y Carranza-Edwards, 1998; (15) Villaescusa-Celaya et al., 2000.

Tabla 7.3.- Intervalos o promedio de concentración de metales pesados en sedimentos de diversas localidades del Mundo y de los cuatro puertos del Golfo de California. Unidades en ppm, excepto Al y Fe (%).

Localidad	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Zn
Clyde Sea, Gran Bretaña ^{a 1}	----	1.6	----	33	16	----	----	355	30	42	85
Clyde Sea, Gran Bretaña ^{b 1}	----	6.4	----	122	269	----	----	407	77	361	631
Marismas de Georgia, USA. ²	0.4 - 4.3	1.5 - 2.4	----	9-79	2-17	0.6 - 3.8	----	22 - 1020	5-24	----	18 - 89
Estua. St. Lawrence, Canada ³	3.7 - 8.0	----	----	44-99	8-43	----	10-53	----	----	18 - 30	27-115
Estuario Gangolli, India ⁴	3.0 - 6.0	----	2-13	58-151	13-165	1.4 - 4.8	----	79 - 212	10-49	2-36	23-147
Golfo de Aqaba, Jordania ⁵	----	7.2	33	63	4	1.0	----	182	43	137	72
Barcelona, España ^{c 6}	----	4.8-10.8	5-44	295-889	174-406	0.8-3.4	----	191-462	37-110	835-1490	
Golfo deThermaikos, Grecia ⁷	----	0.3 - 8.7	13-37	39-386	7-200	1.1 - 5.3	----	206 - 1994	29 - 290	11-334	32-2600
Mar Báltico, Polonia ⁸	9.5-48.3	0.6-6.0	4-29	13-69	15-79	10.7-46.4	18-84	122-1090	21-60	11-117	45-734
Laguna de Venecia, Italia ⁹		0.2-1.9		41-106	8-32	13.2-18.3		216-455	14-20	17-41	77-306
Puerto de Rodas, Grecia ¹⁰		0.0-0.2		19-118	32-101	0.1-1.1		138-220		77-230	59-242
Sidney, Australia ^{d 11}		0.2		24	7			30	12	14	30
Mares Liguriano y Tirreniano, Italia ¹²			3-25	39-269	14-44				29-118	17-56	18-130
Estuario Tees, Gran Bretaña ¹³		5.9	34	224	103				41	307	392
Lago Swan, Bahía de Galveston, USA ¹⁴		0.1-0.9			9-86	0.6-5.5		83-1030	2-41	24-1120	37-170
Sonda Jurujuba, Brasil ¹⁵				89	51	1.3		182	48	61	158
Mazatlán (este estudio)	6.9	3.2	40	31	6	2.6	7.5	569	23	64	82
Ohuira y Topolobampo (este estudio)	4.9	2.8	40	30	9	1.9	8.9	506	36	53	62
Guaymas (este estudio)	7.0	4.1	39	32	53	2.3	8.5	257	41	66	163
La Paz (este estudio)	7.0	3.5	37	33	9	1.4	4.6	178	27	53	45

(a) Sedimentos "limpios"; (b) Sedimentos "contaminados"; (c) Máximos de tres localidades; (d) Asociados a un emisor.

(1) Forstner, 1980; (2) Alberts et al., 1990; (3) Loring, 1990; (4) Pandarinath y Narayana, 1992; (5) Abu-Hilal, 1993; (6) Palanques y Díaz, 1994; (7) Voutsinou-Taliadouri y Varnavas, 1995; (8) Szefer et al., 1995; (9) Sfriso et al., 1995; (10) Angelidis y Aloupi, 1995; (11) Gray, 1996; (12) Leoni y Sartori, 1996; (13) Jones y Turki, 1997; (14) Park y Presley, 1997; (15) Baptista Neto et al., 2000.

Tabla 7.4.- Promedio y desviación estándar de las concentraciones potencialmente biodisponibles de metales en sedimentos superficiales de los cuatro puertos del Golfo de California

	Mazatlán	Ohuira y Topolobampo	Guaymas	La Paz
Cd (ppm)	0.7 ± 0.4 ^{abc}	1.2 ± 0.7 ^a	1.4 ± 0.9 ^b	1.3 ± 0.7 ^c
Cu (ppm)	2.0 ± 1.3 ^b	3.1 ± 2.1 ^d	24.3 ± 24.2 ^{bdf}	2.6 ± 1.9 ^f
Fe (%)	0.2 ± 0.0 ^c	0.1 ± 0.0 ^e	0.2 ± 0.0 ^f	0.2 ± 0.1 ^{cef}
Pb (ppm)	21.2 ± 5.8 ^{ab}	24.9 ± 12.8 ^a	35.5 ± 23.7 ^{bf}	20.8 ± 12.2 ^f
Zn (ppm)	14.5 ± 5.6 ^a	19.4 ± 11.9 ^{ade}	26.9 ± 17.4 ^d	6.2 ± 4.6 ^e

Diferencias significativas entre ^aMazatlán y Ohuira-Topolobampo, ^bMazatlán y Guaymas, ^cMazatlán y La Paz, ^dOhuira-Topolobampo y Guaymas, ^eOhuira-Topolobampo y La Paz, ^fGuaymas y La Paz.

No se presentaron diferencias significativas en los contenidos de cobalto y cromo en los sedimentos de los cuerpos de agua estudiados. Los valores detectados en este estudio son similares a aquellos encontrados en la Laguna de Alvarado, Ver. (Rosales-Hoz *et al.*, 1986a), en la boca del Golfo de California (Páez-Osuna y Osuna-López, 1990c), en la zona costera de Barcelona, España (Palanques y Díaz, 1994), y en el Estuario Tees, Gran Bretaña (Jones y Turki, 1997).

Los sedimentos de la Bahía de Mazatlán tuvieron significativamente el promedio más bajo de concentración de cobre de las cuatro zonas de estudio, en tanto que el más alto se localizó en la Bahía de Guaymas, como era de esperarse debido al contenido de sedimentos finos y carbono orgánico en cada localidad. Los valores detectados en este estudio son menores (o similares en el caso de la Bahía de Guaymas) a los encontrados en la Laguna Sontecomapan, Ver. (Ponce *et al.*, 1994), en la Bahía de San Quintín, B. C. (Rosales-Hoz *et al.*, 1994), en el Estuario de St. Lawrence, Canadá (Loring, 1990), en el Mar Báltico, en la costa polaca (Szefer *et al.* 1995).

Tabla 7.5.- Intervalos de concentración de metales pesados en la fracción biodisponible en sedimentos de diversas localidades de México, del mundo y de los cuatro puertos del Golfo de California. Unidades en ppm, excepto Fe (%).

Localidad	Cd	Cu	Fe	Pb	Zn
Pto. de Mazatlán, Sin. ¹	0.1-0.6	0.2-0.9	0.1-0.3	1.4-10.6	2.8-20.3
Río Coatzacoalcos y L. Ostión, Ver. ²	0.6-1.0	0.2-1.3	0.1-1.4	1.0-10.0	1.8-45.0
Bahía San Quintín, B. C. ³	N D-1.0	0.2-13.4	----	----	1.8-11.4
Laguna Sontecomapan, Ver. ⁴	----	0.2-0.7	----	----	3.1-4.2
Altata-Ensenada del Pabellón, Sin. ⁵	N D-2.1	0.2-5.3	0.003-0.1392	0.8-72.4	1.5-23.6
Río Coatzacoalcos, Ver. ⁶	ND-2.0	1.0-95.8		1.0-37.2	3.0-65.8
Mar Báltico, Polonia ⁷	0.5-5.0	3.2-47.3	2.0-21.6	7.3-117.0	30.3-639.0
Mazatlán (este estudio)	0.7	2.0	0.2	21.2	14.5
Ohuira y Topolobampo (este estudio)	1.2	3.1	0.1	24.9	19.4
Guaymas (este estudio)	1.4	24.3	0.2	35.5	26.9
La Paz (este estudio)	1.3	2.6	0.2	20.8	6.2

(1) Osuna-López *et al.*, 1986; (2) Páez-Osuna *et al.*, 1986; (3) Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1991; (4) Ponce *et al.*, 1994; (5) Green-Ruiz, 1996; (6) Rosales-Hoz y Carranza-Edwards, 1998; (7) Szefer *et al.*, 1995.

La mayor concentración de cobre en la fracción biodisponible se presentó en la Bahía de Guaymas, en tanto que los otros tres cuerpos de agua estudiados no presentaron diferencias significativas. Niveles similares a los de las Bahías de Mazatlán, Ohuira-Topolobampo y la Laguna de La Paz se encontraron en Altata-Ensenada del Pabellón (Green-Ruiz, 1996), en tanto que valores superiores a los de los sedimentos de la Bahía de Guaymas fueron detectados por Szefer *et al.* (1995) y Rosales-Hoz y Carranza-Edwards (1998), en las costas polacas del mar Báltico y en el Río Coatzacoalcos, Ver., respectivamente.

Las concentraciones promedio de Fe y Li en los sedimentos de Laguna de La Paz son significativamente menores a las de los otros cuerpos de agua estudiados. Al igual que el aluminio, estos metales han sido considerados como elementos conservativos por diversos autores (Loring, 1990; Green-Ruiz, 1996; Tam y Yao, 1998; Baptista Neto *et al.*, 2000), considerándose que son el resultado de la composición litológica de cada región. De acuerdo con el criterio de Müller (1979), ninguno de los puertos aquí estudiados está contaminado con Fe. Las concentraciones encontradas en este estudio de Fe y Li son similares a las detectadas en otras regiones de México (Rosales-Hoz *et al.*, 1986b; Green-Ruiz, 1996; Soto-Jiménez, 1998) y del Mundo (Loring, 1990; Voutsinou-Taliadouri y Varnavas, 1995; Szefer *et al.*, 1995).

La Laguna de La Paz fue la zona de estudio que presentó la proporción biodisponible de Fe más alta significativamente, sin embargo, la concentración promedio del este metal en dicha fracción en todas las zonas de estudio coincide con las encontradas por Osuna-López *et al.* (1986) en el puerto de Mazatlán, y son inferiores a las detectadas en las costas polacas del mar Báltico (Szefer *et al.*, 1995), y en el Río Coatzacoalcos, Ver. (Rosales-Hoz y Carranza-Edwards, 1998).

El promedio de la concentración de manganeso en los sedimentos fue significativamente menor en la Laguna de La Paz, seguido por un valor intermedio en la Bahía de Guaymas y niveles más altos en las Bahías de Mazatlán y Ohuira-

Topolobampo (estos últimos no se diferenciaron en forma significativa). Por su parte, Osuna-López *et al.* (1997), mencionan que existen niveles altos de manganeso en el Estero del Infiernillo, el cual puede estar aportando este metal hacia el estero de Urías, desde donde, de acuerdo al comportamiento encontrado por Soto-Jiménez (1998), es exportado hacia la Bahía de Mazatlán. En tanto, que los altos contenidos de Mn en el sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo están asociados al empleo de agroquímicos que contienen dicho metal (e.g. Maneb). Sin embargo, de acuerdo con la clasificación de Müller (1979), las zonas de estudio no están contaminadas con manganeso. Además, los valores aquí detectados son similares a los encontrados en el Río Papaloapan, Ver. (Rosales-Hoz *et al.*, 1986b), Altata-Ensenada del Pabellón, Sin. (Green-Ruiz, 1996), estero de Urías, Sin. (Soto-Jiménez, 1998), así como en la zona coatera de Barcelona, España (Palanques y Díaz, 1994), Laguna de Venecia, Italia (Sfriso *et al.*, 1995), y en el lago Swan en la Bahía de Galveston, USA (Park y Presley, 1997).

Las concentraciones promedio de níquel presentaron diferencias significativas en los sedimentos de los cuatro cuerpos de agua aquí estudiados, detectándose el nivel más alto en la Bahía de Guaymas, seguido de las Bahías de Ohuira y Topolobampo, después la Laguna de La Paz y finalmente, con el menor promedio, la Bahía de Mazatlán. Por otro lado, se considera que ninguno de los cuatro puertos está contaminado con manganeso. Los valores del contenido de este metal son similares a los encontrados en el Río Papaloapan, Ver. (Rosales-Hoz *et al.*, 1986b), en Salina Cruz, Oax. (Pica-Granados *et al.*, 1994), en Coatzacoalcos, Ver. (Rosales-Hoz y Carranza-Edwards, 1998), en el estuario de Gangolli en la India (Pandarinath y Narayana, 1992), en la costa polaca del mar Báltico (Szefer *et al.*, 1995) y en la sonda Jurujuba, Brazil (Baptista-Neto *et al.*, 2000).

En lo que respecta al plomo, aún cuando las concentraciones promedio de este metal en los sedimentos de las Bahías de Mazatlán y Guaymas, no se diferencian entre sí, son significativamente mayores a las de las Bahías de Ohuira y Topolobampo y la Laguna de La Paz. Este hecho puede ser el reflejo de la cercanía y la magnitud de las

ciudades aledañas a los cuerpos de agua y su emisión de Pb atmosférico, el cual después es depositado en los sedimentos. Aún cuando actualmente se ha generalizado el uso de gasolina "sin plomo", los sedimentos siguen reflejando su entrada al ambiente acuático.

En general, las concentraciones de plomo encontradas en los cuatro puertos son mayores a las detectadas en los sedimentos de las Lagunas de Ceuta, Sin. (Osuna-López, 1981), Mitla, Oax. (Páez-Osuna *et al.*, 1987), Sontecomapan, Ver. (Ponce *et al.*, 1994) y Venecia, Italia (Sfriso *et al.*, 1995), pero son similares a las obtenidas en la boca del Golfo de California (Páez-Osuna y Osuna-López, 1990), en Coatzacoalcos, Ver. (Rosales-Hoz y Carranza-Edwards, 1998), en los mares Liguriano y Tirreniano, Italia (Leoni y Sartori, 1996).

Los sedimentos del sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo, y la Bahía de Guaymas, presentaron significativamente las proporciones más altas de plomo biodisponible respecto a su correspondiente concentración total, y aun cuando estos niveles son mayores a los encontrados en el puerto de Mazatlán una década antes de este estudio (Osuna-López *et al.*, 1986) y en el Río Coatzacoalcos y Laguna del Ostión, Ver. (Páez-Osuna *et al.* 1986), estos mismos niveles son similares a los obtenidos en Altata-Ensenada del Pabellón, Sin. (Green-Ruiz, 1996), en el Río Coatzacoalcos, Ver. (Rosales-Hoz y Carranza-Edwards, 1998), en México y en las costas polacas del mar Báltico (Szefer *et al.*, 1995).

Los promedios de las concentraciones de zinc se diferencian significativamente en los sedimentos de cada uno de los cuatro puertos estudiados, presentándose el mayor valor en la Bahía de Guaymas, seguido de Mazatlán, posteriormente el sistema lagunar de las Bahías de Ohuira y Topolobampo, y con el menor valor, la Laguna de La Paz. Los niveles de zinc en los sedimentos aquí detectados son similares a los encontrados en la Laguna de Alvarado, Ver. (Rosales-Hoz *et al.*, 1986a), en Coatzacoalcos, Ver. (Rosales-Hoz y Carranza-Edwards, 1998), en la frontera entre Baja California y California (Villaescusa-Celaya *et al.*, 2000), en los mares Liguriano y Terreniano, Italia

(Leoni y Sartori, 1996) y en el lago Swan, en la Bahía de Galveston, USA (Park y Presley, 1997).

La proporción de zinc biodisponible fue significativamente mayor en los sedimentos de las Bahías de Ohuira y Topolobampo en comparación con los otros tres puertos estudiados, en los cuales no se presentan diferencias. En general, los valores encontrados en las cuatro zonas de estudio fueron similares a aquellos observados en el Río Coatzacoalcos y Laguna del Ostión (Osuna-López *et al.* 1986) y Altata-Ensenada del Pabellón (Green-Ruiz, 1996), en tanto que fueron inferiores a los detectados en la costa polaca del mar Báltico (Szefer *et al.*, 1995).

7.2 Índice de geoacumulación, biodisponibilidad y toxicidad de Cd, Cu, Pb y Zn.

Los valores calculados para el índice de geoacumulación sugieren que los sedimentos de las Bahías de Ohuira y Topolobampo están fuertemente contaminadas con cadmio, en tanto que aquellos de las Bahías de Mazatlán y Guaymas, así como de la laguna de La Paz y la parte adyacente de la Bahía del mismo nombre están fuertemente a muy fuertemente contaminadas con dicho elemento (Tabla 7.6). Lo anterior es congruente con el hecho de que las concentraciones promedio de cadmio biodisponible en las cuatro zonas de estudio son mayores a la concentración por debajo de la cual, según Smith *et al.* (1996), podría esperarse que raramente se produjeran efectos adversos para la biota (TEL), y menores al nivel al cual estos autores observaron que se presentan frecuentemente efectos adversos (PEL) (Tabla 7.4). Lo anterior significa que con las concentraciones de cadmio encontradas en este estudio es posible que los organismos que habitan estas regiones presenten ocasionalmente efectos adversos causados por la toxicidad de dicho elemento.

Si bien existen fuentes naturales de cadmio como son las surgencias en la Bahía de Mazatlán y el aporte derivado de la erosión de las rocas fosfóricas en la Laguna de La Paz y la parte sur de la bahía del mismo nombre, también se observaron fuentes antropogénicas como la descarga de aguas municipales y el empleo de fertilizantes en

zonas agrícolas, las cuales deben ser controladas. Asimismo, se observó que la proporción de la concentración total de cadmio que se encuentra en la fracción biodisponible está asociada con altas concentraciones de carbonatos, existiendo, además, una correlación inversa con el contenido de sedimentos finos (Bahías de Ohuira y Topolobampo) y de carbono orgánico (Bahía de Guaymas), sugiriendo que la capacidad de estos materiales para adsorber los iones de Cd disminuye la posibilidad de que este elemento se encuentre biodisponible.

Tabla 7.6 .- Clasificación de la contaminación por metales pesados en los sedimentos de los cuatro puertos estudiados, según la nomenclatura propuesta por Müller (1979).

	Mazatlán	Ohuira y Topolobampo	Guaymas	La Paz
Cd (ppm)	Fuerte a muy fuertemente	Fuerte	Fuerte a muy fuertemente	Fuerte a muy fuertemente
Cr (ppm)	No contam.	No contam.	No contam.	No contam.
Cu (ppm)	No contam.	No contam.	No contam.	No contam.
Fe (%)	No contam.	No contam.	No contam.	No contam.
Mn (ppm)	No contam.	No contam.	No contam.	No contam.
Ni (ppm)	No contam.	No contam.	No contam.	No contam.
Zn (ppm)	No contam.	No contam.	No contam.	No contam.

Como resultado de la determinación del índice de geoacumulación, se considera que ninguna de las cuatro regiones estudiadas presenta contaminación por cobre en sus sedimentos, sin embargo, la concentración biodisponible de este metal en los sedimentos de la Bahía de Guaymas (mayor a TEL y menor a PEL), sugiere que ocasionalmente se pueden presentar efectos adversos para la biota que reside en dicha bahía. Los valores más altos están asociados a la actividad portuaria (muelles) posiblemente como resultado del intemperismo de las pinturas de los barcos, como lo

observaron Gibbs y Guerra (1997) en el puerto de Belice. Por su parte, algunos autores (Leoni y Sartori, 1996; Shriadah, 1998) mencionan que existen aportes de Cu a partir del manejo de hidrocarburos y de la reparación de embarcaciones (astilleros); ambas actividades están relacionadas con los muelles.

El porcentaje de cobre en la fracción biodisponible con respecto a la concentración total se correlaciona directamente con el contenido de carbonatos en los sedimentos debido a la posible formación de carbonatos de cobre debilmente ligados. Particularmente en las Bahías de Ohuira y Topolobampo se presenta una correlación inversa con el porcentaje de carbono orgánico debido a la capacidad que este material posee para adsorber a los metales, como se mencionó con anterioridad.

De acuerdo con los lineamientos sugeridos por Smith *et al.* (1996), únicamente la Bahía de Guaymas presenta concentraciones biodisponibles de plomo que ocasionalmente pudiesen causar efectos adversos a la biota, por lo que, con relación a este metal, se debe tener especial cuidado con el manejo de las actividades antropogénicas que pudiesen estar aportando plomo a este ecosistema. Dada la ubicación de los máximos valores en las cercanías de la Ciudad de Guaymas, se presume que la fuente potencial de este metal es la carga vehicular de la ciudad. Aún cuando desde hace una década se ha propiciado el empleo de gasolina "sin plomo", los sedimentos siguen reflejando dicho aporte.

Aún cuando las concentraciones de plomo biodisponible en los sedimentos de la Bahía de Mazatlán raramente pudiesen ocasionar que produzcan efectos adversos en la biota, se debe tener especial cuidado al control de las fuentes de aporte de este metal, ya que dichas concentraciones se han incrementado en los últimos años, si consideramos el valor promedio actual (21.2 ± 5.8 ppm) contra el máximo contenido observado por Osuna-López *et al.* (1986).

Las cuatro zonas de estudio presentan valores del índice de geoacumulación de Zn menores a cero, lo que sugiere que los sedimentos de ninguno de ellos están

contaminados con este metal, lo cual es compatible con el hecho de que de acuerdo a los lineamientos propuestos por Smith *et al.* (1996), las concentraciones biodisponibles de zinc son menores a la concentración a la cual se esperaría que raramente se produjeran efectos adversos para los organismos. Sin embargo, deben controlarse las posibles fuentes de aporte como las descargas de aguas municipales (Leoni y Sartori, 1996; Shriadah, 1998), el empleo de agroquímicos, etc.

La falta de compatibilidad entre los diferentes criterios empleados para conocer el grado impacto de los metales en los sedimentos como son el índice de geoacumulación o los lineamientos para definir concentraciones que produzcan efectos adversos indica la necesidad de utilizar varios criterios antes de emitir un juicio sobre el estado de la contaminación en los ecosistemas costeros.

CONCLUSIONES

Bahía de Mazatlán

En cuanto a la distribución de los metales en los sedimentos de la Bahía de Mazatlán, sobresalen las estaciones MZ23 y MZ16, las cuales presentaron las mayores concentraciones de carbonatos y en general los más altos factores de enriquecimiento respecto al Al para Co, Cr, Fe, Li, Mn y Zn; y las estaciones MZ4, MZ24 y MZ30, con los más altos contenidos de Cu y carbono orgánico.

La proporción de los metales biodisponibles respecto a su correspondiente concentración total en los sedimentos de la Bahía de Mazatlán, siguió el orden Fe-bio < Zn-bio < Cd-bio < Cu-bio < Pb-bio.

Al realizar un análisis de componentes principales se observó la presencia de tres componentes. El componente 1 sugiere una fuerte correlación entre los contenidos de Al, Co, Cr, Fe, Li, Mn y Zn debido a su origen común (terrestre), así como lo susceptibles que son las concentraciones de estos elementos al efecto de dilución de los carbonatos, con origen totalmente opuesto (marino). El segundo componente agrupa al Cu con el carbono orgánico, como resultado del papel importante que juega este último en el comportamiento geoquímico de cobre. El tercer componente representa la independencia del Pb con respecto a los otros parámetros analizados.

Las concentraciones de los metales pesados en los sedimentos del núcleo El Rastro siguió el orden de magnitud Cd < Li < Cr < Cu < Ni < Co < Pb < Zn < Mn < Fe < Al, existiendo diversos procesos que intervienen en su comportamiento a lo largo del perfil del núcleo, tales como la migración ascendente debida a la liberación de los iones metálicos en las capas profundas con ambientes reductores y su depósito en las capas oxidadas superiores, o la formación de minerales carbonatados con los iones de los

metales presentes, en capas profundas, lo que favorece el enriquecimiento dichos metales en las secciones más profundas, disminuyendo su concentración hacia la superficie. En el caso del perfil de plomo, cabe destacar, que se presentan dos eventos caracterizados por una disminución drástica de su concentración, los cuales al parecer corresponden al inicio de la operación del parque industrial Bonfil, aledaño a la zona donde se muestreo el núcleo y a la reducción en el empleo de gasolina sin plomo.

Las principales fuentes de metales pesados identificadas en este trabajo son el emisor de aguas municipales, el aporte a partir del estero de Urías, y las corrientes litorales que transportan material desde el norte de la zona de estudio. En lo particular, se distinguen los aportes naturales de cadmio a través de las surgencias que ocurren en la zona de estudio y la asociación de niveles altos de plomo con la mancha urbana.

Sistema lagunar Bahías de Ohuira y Topolobampo

A lo largo del sistema lagunar Bahías de Ohuira y Topolobampo, se identifican tres grupos de estaciones. El grupo 1, incluyendo las estaciones localizadas en la cabeza de la Bahía de Ohuira (zona noreste), se caracteriza por tener altos contenidos de sedimento fino (limos a limos arenosos) y relativamente altas concentraciones de Al, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni y Zn, al recibir la descarga del dren 1º de mayo, proveniente de los campos agrícolas. El grupo 2, ubicado en la región suroeste de la Bahía de Ohuira, hacia el canal de San Carlos, el cual conecta dicho cuerpo de agua con la Bahía de Topolobampo, reúne una serie de estaciones con bajas concentraciones de sedimentos finos y de Al, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni y Zn y altos niveles de Cd. El grupo 3, localizado en la Bahía de Topolobampo y la zona centro de la Bahía de Ohuira, tiene bajas concentraciones de cadmio,

La proporción de los metales biodisponibles respecto a su correspondiente concentración total en los sedimentos del sistema lagunar Bahías de Ohuira y Topolobampo, siguió el orden Fe-bio < Zn-bio < Cu-bio < Cd-bio < Pb-bio.

La relación entre los metales y los otros parámetros aquí estudiados se refleja en el análisis de componentes principales que se llevó a cabo, observándose la presencia de tres componentes. El primero se caracteriza por la asociación entre el contenido de sedimentos finos y las concentraciones de Al, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni y Zn, lo que sugiere una fuerte correlación entre estos metales debido a su origen común (terrígeno), así como la capacidad de los sedimentos finos de adsorber dichos metales, como resultado de su elevada área superficial. En tanto que el segundo y el tercero sugieren una independencia de las concentraciones de Cd y carbono orgánico, respectivamente.

Las concentraciones de los metales pesados en el núcleo OH5 mostraron el orden de magnitud $Cd < Li < Cu < Cr < Co < Ni < Pb < Zn < Mn < Fe < Al$, observándose los mismos procesos que en el núcleo El Rastro, los cuales intervienen en la geoquímica de los metales a lo largo del perfil del núcleo.

La principal fuente de aporte es la actividad agrícola, la cual vierte sus descargas a través de drenes como el 1° de Mayo y Los Mochis, que adicionalmente acarrearán las aguas municipales del poblado de Juan José Ríos y de Topolobampo y, parcialmente, de la ciudad de Los Mochis, hacia este cuerpo de agua.

Bahía de Guaymas

La distribución de las concentraciones de los parámetros estudiados, permite dividir a la Bahía de Guaymas en tres regiones: (1) Boca Oriente, situada en la parte externa de la laguna, la cual se caracteriza por tener los contenidos más bajos de sedimentos finos, carbono orgánico y todos los metales pesados, (2) Laguna Interior, comprendiendo la cabeza lagunar, presenta los valores significativamente más altos de carbono orgánico, plomo y zinc, (3) Zona de transición, la cual tiene un contenido de sedimentos finos similar a la Laguna Interior, pero con menor porcentaje de carbono orgánico, lo cual

resulta en concentraciones ligeramente menores de los metales pesados, a excepción de litio.

La proporción de los metales biodisponibles respecto a su correspondiente concentración total en los sedimentos de la Bahía de Guaymas, siguió el orden Fe-bio < Zn-bio < Cd-bio < Cu-bio < Pb-bio.

De acuerdo a los resultados del análisis de componentes principales, se definió la presencia de dos componentes que explican la asociación entre los parámetros estudiados. El componente 1 sugiere una fuerte correlación entre Al, Cr, Fe, Mn, Ni y Zn debido a su origen común (terrígeno), así como la capacidad de los sedimentos finos y el material orgánico de adsorber dichos metales, como resultado de su capacidad de intercambio catiónico dada su elevada área superficial, en tanto que el segundo manifiesta la independencia del porcentaje de carbonatos en el sedimento.

El núcleo GYN presentó el siguiente orden de magnitud en las concentraciones de los metales pesados Cd < Li < Cr < Co < Ni < Cu < Pb < Mn < Zn < Fe < Al, observándose los mismos procesos que en los núcleos El Rastro y OH5, los cuales intervienen en la geoquímica de los metales a lo largo del perfil del núcleo.

Aún cuando no se definieron una o dos fuentes generales de aporte de los metales pesados, de manera particular se detectaron zonas de actividad antropogénica que se asocian con altas concentraciones de algunos metales, sugiriendo que posiblemente estén introduciéndolos al cuerpo de agua, como son la zona naval, los astilleros, el muelle de PEMEX y la cementera CEMEX.

Laguna de La Paz y región adyacente de la Bahía de La Paz

Utilizando el análisis de componentes principales, se definieron tres zonas con características particulares con respecto al total del área de la Laguna de La Paz: (1) la

cuenca noroeste de la laguna, donde se presentaron bajas concentraciones de carbonatos y altos contenidos de Al, Co, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Zn y carbono orgánico, (2) el puerto de Pichilingue, el cual también tiene altos contenidos de carbono orgánico pero, contrariamente a la zona anterior, bajas concentraciones de los metales mencionados y relativamente altos porcentajes de carbonatos; y (3) el estero Zacatecas y la zona sur de la Bahía de La Paz, las cuales reflejan el aporte, eólico o a través de las corrientes litorales, del material proveniente de las rocas fosfóricas de la Formación San Gregorio. Esta última zona se caracteriza por tener baja concentración de carbonatos y altas de los metales ya mencionados, pero con niveles bajos de carbono orgánico.

La proporción de los metales biodisponibles respecto a su correspondiente concentración total en los sedimentos de la Laguna de La Paz, siguió el orden Zn-bio < Fe-bio < Cu-bio < Cd-bio < Pb-bio.

Se detectaron tres componentes principales, los cuales reflejan la relación existente entre los parámetros estudiados. El primer componente sugiere una fuerte correlación entre Al, Co, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Zn, debido a su origen común (terrestre), así como lo susceptibles que son las concentraciones de estos elementos al efecto de dilución de los carbonatos, con origen totalmente opuesto (marino). El segundo componente representa únicamente al carbono orgánico, y el tercero, el comportamiento independiente del Cd con respecto a los otros parámetros analizados. De hecho, este metal sólo se correlacionó significativamente con los carbonatos (($r= 0.39$), el Cr ($r= 0.41$), el plomo ($r= 0.32$) y, en forma inversa, con el litio ($r= -0.25$).

La distribución de las concentraciones de metales pesados en la Laguna de La Paz claramente sugiere que la erosión y en cierto grado la explotación minera en San Juan de la Costa, de las rocas fosfóricas de la formación San Gregorio, son su principal fuente de aporte, siendo transportados eólicamente y a través de las corrientes litorales.

Comparación de las concentraciones totales y de la fracción biodisponible de metales pesados en los cuerpos de agua estudiados.

La Bahía de Guaymas presentó los valores más altos de las concentraciones totales de Al, Cd, Cu, Ni, Pb y Zn; en tanto que la Bahía de Mazatlán mostró los mayores contenidos de Co, Fe y Mn, y los menores de Cu y Ni. Por su parte, el sistema lagunar Bahías de Ohuira y Topolobampo tuvo los niveles más altos de litio y más bajos de aluminio y cadmio, mientras que en la Laguna de La Paz y la región adyacente de la Bahía de La Paz se encontró el valor más alto de Cr, y los más bajos de Co, Fe, Li, Mn, Pb y Zn. Dado lo anterior, se puede decir que el impacto de la actividad antropogénica sobre los sedimentos de los cuatro puertos aquí estudiados sigue el orden Laguna de La Paz << Bahías de Ohuira y Topolobampo < Bahía de Mazatlán << Bahía de Guaymas.

El porcentaje de la fracción biodisponible con respecto a la concentración total de cadmio fue significativamente menor en Mazatlán, en tanto que no existen diferencias entre los otros cuerpos de agua. En cuanto al contenido de cobre y plomo en dicha fracción, la Bahía de Guaymas presentó los valores significativamente más altos, no habiendo diferencias entre las demás zonas de estudio. Por su parte, los sedimentos de la Laguna de La Paz y la región adyacente de la Bahía del mismo nombre mostraron el nivel significativamente mayor de hierro biodisponible, en tanto que las Bahías de Ohuira y Topolobampo tuvieron el nivel más alto de Zn biodisponible.

Con los altos niveles de cadmio, cobre y plomo presentes en los sedimentos de la Bahía de Guaymas y de cadmio en las Bahías de Mazatlán, Ohuira y Topolobampo y la Laguna de La Paz incluyendo la región adyacente de la Bahía de La Paz es posible que los organismos que habitan estos ecosistemas presenten ocasionalmente efectos adversos causados por la toxicidad de dichos elementos.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Federico Páez Osuna, a quien debo la dirección del trabajo de tesis que concluye con la elaboración de este manuscrito, por sus sugerencias y consejos tanto en lo académico como en lo personal. Asimismo, a cada uno de los investigadores que con sus comentarios ayudaron a enriquecer este documento: Dra. María Aurora Armienta, Dr. Arturo Carranza Edwards, Dr. Liberto de Pablo Galán, Dr. Luis E. Marín, Dr. Adolfo Molina Cruz y Dr. Evgueni Choumiline.

Muy posiblemente mis estudios de doctorado hubiesen sido difíciles si Leonor Tripp Quezada no hubiera compartido conmigo la decisión de llevarlos a cabo, así como cada una de las decisiones importantes que tuve que tomar en esta etapa. Gracias por estar conmigo.

A Norma Suazo, Gabriela Almaraz y Margarita Cordero, colaboradoras de la Coordinación del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, por su disposición para ayudarme a efectuar la gran cantidad de trámites que fueron necesarios realizar durante mi período como estudiante de posgrado, les doy las gracias por enésima ocasión y espero que no se olviden del "latoso" de Mazatlán. También quiero agradecer al Dr. Martín Merino Ibarra, Coordinador del Posgrado, por apoyarme siempre que lo solicité al Comité Académico del posgrado.

En la Unidad Académica Mazatlán del ICMYL-UNAM tuve el apoyo necesario para culminar este trabajo, por lo que deseo agradecer a Clara Ramírez Jauregui por todas y cada una de las búsquedas bibliográficas que eficientemente realizó, además de sus continuas porras; al Mat. Germán Ramírez Reséndiz, por su ayuda en el manejo del equipo de cómputo para preparar presentaciones o hacer algunas figuras; al Ing. Alberto Castro del Río, quien me enseñó a utilizar el Surfer y me ayudó a hacer algunos

mapas de distribución, además de instruir a Carolina Tripp Barba, a quien también le doy las gracias, para que ella terminara con los mapas.

Mi agradecimiento a Rafael Gil Tripp por su colaboración en la separación de las arcillas para su posterior análisis mineralógico, además de echarme la mano con la edición de algunas figuras. La preparación de las laminas de arcilla para leerlas en el difractómetro de rayos X se llevó a cabo con la ayuda y experiencia de Aurelia Maturano, del laboratorio del Dr. De Pablo, por lo que le doy las gracias.

Agradezco a mis hermanos que viven en la Ciudad de México, Oscar, Yenda, Gustavo y Deborah, y mis sobrinos Oscar Adrian y Federico porque en varias ocasiones tuve que acudir a ellos para que fueran a Ciudad Universitaria a realizar algunos trámites. También le doy las gracias a Mara, Yanira, Velvet y Antonio, porque continuamente me brindaron su apoyo, a veces económico, a veces moral, pero siempre acompañado con palabras de aliento y muchas porras.

Sin duda, no hubiese podido llevar a cabo mis estudios de doctorado sin el apoyo económico del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y de la Dirección General de Estudios de Posgrados de la UNAM, quienes me otorgaron las correspondientes becas, desde que inicié hasta junio de 2000. De igual forma quiero agradecer a la Dra. Norma Patricia Muñoz Sevilla y la M. en C. Diana Escobedo Urías, así como al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa, por su apoyo en la recta final.

Finalmente, pero no menos importante, doy las gracias a mis compañeros del Laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera: Jorge, Caro, Martín, Faby, Humberto, Libia, Eva, Rebeca, Julia y Elsa por los innumerables comentarios y sugerencias a lo largo de este período, convertidos en ratos de animosas, y a veces extensas, charlas.

BIBLIOGRAFIA

- Aboul-Dahab, O. 1989. Chromium biogeochemical cycle in Abu Kir Bay, east of Alexandria, Egypt. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 29(4): 327-340.
- Abu-Hilal, A. 1993. Observations on heavy metal geochemical association in marine sediments of the Gulf of Aqaba. *Marine Pollution Bulletin* 26(2): 85-90.
- Ackermann, F. 1980. A procedure for correcting grain size effect in heavy metal analysis of estuarine and coastal sediments. *Envir. Technol. Lett.* 1:518-527
- Ackerman, F., M. Bergmann y G. U. Schleichert. 1983. Monitoring of heavy metals in coastal and estuarine sediments – a question of grain size: < 20 μm versus 60 μm . *Environmental Technology Letters* 4: 317-328.
- Alonso-Rodríguez, R. 1998. Ocurrencia de mareas rojas y calidad del agua en la zona sur de la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar. Universidad Nacional Autónoma de México. 165 pp.
- Alonso-Rodríguez, R, F. Páez-Osuna y R. Cortés-Altamirano. 2000. Trophic Conditions and Stoichiometric Nutrient Balance in Subtropical Waters Influenced by Municipal Sewage Effluents in Mazatlán Bay (SE Gulf of California). *Marine Pollution Bulletin* 40 (4): 331-339.
- Altschuler, Z. S. 1980. The geochemistry of trace elements in marine phosphorites: Part 1. Characteristic abundances and enrichment. En: Bentor Y. K. (ed) *Marine phosphorites-geochemistry, occurrence, genesis*. Society of Economic Paleontologist and Mineralogist. Oklahoma, USA. pp. 19-30.
- Alvarez, M. Jr. 1962. Apuntes de la clase de Geología, Paleogeografía y Tectónica de México. Fac. Ing. Univ. Nal. Autón. México (Inédito) 150p.
- Alvarez-Arellano. A., C. Green-Ruiz e I. Osuna-Valdez. 1986. Determinaciones de carbono orgánico, carbonatos y Zinc en sedimentos superficiales de la Ensenada de La Paz, B. C. S., México. VIII Convención Geológica Nacional. Resúmenes, p. 100-101.

- Alvarez-Arellano, A. y F. Páez-Osuna. 1995. Estudio geoquímica de siete muestras de las formaciones fosfáticas del sur de la península de Baja California, México. *Geofísica Internacional* 34(4): 411-416.
- Alvarez-Arellano, A., H. Rojas y J. J. Prieto. 1997. Geología de la Bahía de La Paz y áreas adyacentes. En: *La Bahía de La Paz, investigación y conservación*. Urban R. J. y M. Ramírez (eds.) UABCS_CICIMAR-SCRIPPS 13-29.
- Alvarez Rivera, U., L. Rosales Hoz, y A. Carranza Edwards. 1986. Heavy Metal in Blanco river sediments, Veracruz, México. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 13 (2): 1-10.
- Alloway, B. J. 1990. *Heavy metals in soils*. Blackie and Son Ltd. 339 pp.
- Andrews, J. E., A. M. Greenaway, G. R. Bigg, D. F. Webber, P. F. Dennis y G. A. Guthrie. 1999. Pollution history of a tropical estuary revealed by combined hydrodynamic modelling and sediment geochemistry. *Journal of Marine Systems* 18: 333-343.
- Angelidis, M. O. y M. Aloupi. 1995. Metals in sediments of Rhodes harbour, Greece. *Marine Pollution Bulletin* 31(4-12): 273-276.
- Anónimo. 1970. Carta de climas Ciudad Obregón 12R-VI. Secretaría de la Presidencia e Instituto de Geografía/UNAM. Escala 1:500 000.
- Anónimo. 1986. Helmintos de la lisa Muqil cephalus Linnaeus, 1758, en Topolobampo, Sin. Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía. Estación Oceanográfica Topolobampo, México. 56 pp.
- Anónimo. 1988. Atlas Nacional del Medio Físico. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 224 pp. Carta Geológica. Escala 1:1 000 000.
- Anónimo. 1990a. Distribución granulométrica y contenido de carbon orgánico en sedimentos de las bahías de Ohuira, Topolobampo y Sta. María, Sinaloa, México. Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía Naval. Estación Oceanográfica Topolobampo, México. 25 pp.
- Anónimo. 1990b. Observación de corrientes superficiales obtenidas mediante el método Euleriano y distribución de temperatura y salinidad en el sistema lagunar de

- Topolobampo, Sin. Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía Naval. Estación Oceanográfica Topolobampo, México. 60 pp.
- Anónimo. 1993. Estudio hidrológico del Estado de Sonora. Gobierno del Estado de Sonora e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 185 pp.
- Anónimo. 1997. Estado de la contaminación marina en las bahías de Ohuira, Topolobampo y Santa María (1996). Informe Técnico de la Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía Naval. Estación Oceanográfica Topolobampo. México. 10 pp.
- Baccini, P. y P. V. Roberts. 1976. Die Belastung der Gewässer durch metalle. Beil. Forsch. Tech. Neue Zürcher Z. 18: 57-58.
- Baptista-Neto, J.A., B.J. Smith y J.J. McAllister. 2000. Heavy metal concentrations in surface sediments in a nearshore environment , Jurujuba Sound, Southeast Brazil. *Environmental Pollution* 109: 1-9
- Biscaye, P. E. 1964. Distinction between kaolinite and chlorite in recent sediments by X-Ray diffraction. *The American Mineralogist* 49 (9 y 10): 1281-1289. .
- Biscaye, P. E. 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent Seas and Oceans. *Geological Society of America Bulletin* 76: 803-832.
- Bothner, M. H., M. Buchholtz ten Brink y F. T. Manheim. 1998. Metal concentrations in surface sediments of Boston Harbor- Changes with time. *Marine Environmental Research* 45 (2): 127-155.
- Buat-Ménard, P. 1979. Influence de la retombée atmospherique sur la chemie de metaux en trance dans la matière en suspension de l'Atlantique Nord. Tesis de Doctorado de Estado, Université de Paris VII, Francia, 434 pp.
- Burdige, D. J. y J. M. Gieskes. 1983. A pore water/solid phase diagenetic model for manganese in marine sediments. *Am. J. Sci.* 283: 29-47.
- Cabrera-Dueñas. 1988. Modelación hidrodinámica numérica del puerto de Mazatlán y sus proximidades. Tesis de Licenciatura. Universidad de Colima, México.

- Carranza-Edwards, A., M. Gutierrez-Estrada y R. Rodríguez-Torres. 1975. Unidades morfo-tectónicas continentales de las costas mexicanas. An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 2(1): 81-88.
- Carranza Edwards, A.; L. Rosales Hoz, y R. Lozano Santa Cruz. 1988a. Estudio de metales en arenas de playa de San Antonio del Mar, B.C., México. . An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 15 (1): 215-222.
- Carranza Edwards, A.; L. Rosales Hoz, A. Aguirre Gómez y A. Galán Alcalá. 1988b. Estudio de metales en sedimentos litorales de Sonora, México. An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México, 15 (2): 225-234.
- Carruesco, C. y Y. Lapaquellerie. 1985. Heavy Metal Pollution in the Arcachon Basin (France): Bonding States. Marine Pollution Bulletin 16 (12): 493-497.
- CEM Innovators in microwave technology, 1994. Microwave Digestion Applications Manual. Note: SEDIMENT. Application Note: OS-15.
- CINVESTAV. 1989. Diagnóstico y evaluación del impacto biológico de la contaminación en la Bahía de Acapulco. CINVESTAV-IPN-Unidad Mérida. Informe final 85 pp.
- Contreras, E. F. 1985. Las lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo, México. 95-98.
- Cook, J.M., M.J. Gardner, A.H. Griffiths, M.A. Jesseps, J.E. Ravenscroft y R. Yates. 1997. Marine Pollution Bulletin 34(8): 637-644.
- Cortés-Altamirano, R., S. Licea-Duran y S. Gómez-Aguirre. 1999. Evidencias del aumento de microalgas nocivas en la Bahía de Mazatlán, Sin., México. Memorias del VIII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar. 17-21 Octubre 1999. Trujillo, Perú.
- Coull, B. C. 1979. Aspects of benthic-pelagic coupling in estuarine systems. Fifth Biennial Int. Estuarine Research Conference. Jekyll Island, Georgia, USA.
- Covelli, S. y G. Fontolan. 1997. Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines. Environmental Geology 30(1/2).
- Chester, R. 1990. Marine geochemistry. Unwin Hyman Ltd. London. 698.

- De Groot, A. J. 1964. Mud transport studies in coastal waters from the western Ssheldt to the Danish frontier. En: L. M. J. U. Van Straaten (ed) Deltaic and shallow marine deposits. *Development in Sedimentology* 1: 93-103.
- Din, Z. 1992. Use of aluminum to normalize heavy-metal data from estuarine and coastal sediments os Straits of Melaka. *Marine Pollution Bulletin* 24(10): 484-491.
- El-Rayis, O. A. 1985. Re-assessment of the titration method for determinig of organic carbon in recent sediments. *Rapport du Commission du Mer Méditerrané* 29: 45-47.
- El-Sayed, M., S. K. El-Wakeel y A. E. Rifaat. 1988. Factor analysis of sediments in the Alexandria western harbour, Egypt. *Oceanologica Acta* 11(1): 1-11.
- Espinoza-Avalos, J. 1976. Resultados preliminares sobre la distribución superficial de parámetros físico-químicos en la Ensenada de La Paz, B. C. S. Durante la primavera de 1976. *Mem. CIBCASIO* 2: 25-63.
- Fernández-Caliani, J. C., F. Ruiz-Muñoz y E. Galán. 1997. Clay mineral and heavy metal distribution in the lower estuary of Huelva and adjacent Atlantic shelf, SW Spain. *The Science of the Total Environment* 198: 181-200.
- Flores-Verdugo, F., R. Briceño-Dueñas, F. González-Farias y O. Calvario-Martínez. Balance de carbono en un ecosistema lagunar estuarino de boca efímera de la costa noroccidental de México. En: Universidad Autónoma de Baja California (Ed.) *Temas selectos de oceanografía biológica en México*. UABC 2: 137-155.
- Folk, R.L. 1974. *Petrology of sedimentary rocks*, Hemphill, Austin, Texas.
- Fonseca-Rivera, C. 1991. Variaciones petrológicas en las fosforitas de la capa Humboldt con respecto a su espesor, Formación San Gregorio, San Juan de la Costa, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. 126 pp.
- Forstner, U. 1980. Inorganic pollutants, particularly heavy metales in estuaries. En: *Chemistry and biogeochemistry of estuaries*. OLAUSSON, E. e I. Cato (eds.) John Wiley and Sons LTD. 452 pp.
- Forstner, U. y G. T. W. Wittmann. 1979. *Marine pollution in the aquatic environment*. Springer-Verlag. Germany. 486 pp.

- Fredrickson, G. 1974. Geology of the Mazatlan area, Sinaloa, Western Mexico. Ph. D. Dissertation. The University of Texas at Austin. 209 pp.
- Gagnon, C., E. Pelletier y S. Maheu. 1993. Distribution of Trace Metals and Some Constituents in Sediments of the Saguenay Fjord, Canada. *Marine Pollution Bulletin* 26(2): 107-110.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM, 71 pp
- Gibbs, R. J. 1993. Metals of the bottom muds in Townsville harbor, Australia. *Environmental Pollution* 81(3): 297-300.
- Gibbs R. J. y C. Guerra. 1997. Metals of the bottom muds in Belize City harbor, Belize. *Environmental Pollution* 98(1): 135-138.
- Gilmartin M. y N. Revelante. 1978. The phytoplankton characteristics of the barrier island lagoons of the Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 7: 29-47.
- Godínez-Orta, L.E. Shumilin, G. Friedrich y T. Thijssen. 1997. Características litológicas geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz, B.C.S. *Actas INAGEQ* 3:225-233.
- Goldberg, E. D., E. Gamble, J. J. Griffin y M. Koide. 1977. Pollution history of Narragansett Bay as recorded in its sediments. *Estuar. Coast. Mar. Sci.* 5: 549-561.
- González, J. L., B. Boutier, J. F. Chiffolleau, D. Auger, J. Noel y I. Truquet. 1991. Distribution of Cd and Hg in the Bay of Marennes-Oléron. *Oceanologica Acta* 14(6): 559-668.
- Gray, L. A. 1996. Metal contamination of sediments associated with deepwater ocean sewage outfalls, Sydney, Australia. *Marine Pollution Bulletin* 33(7-12): 182-189.
- Green-Ruiz, C. 1996. Geoquímica de sedimentos de la laguna costera subtropical Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa, México. Tesis de Maestría UNAM, México. 183 pp.

- Green-Ruiz, C. y H. Larrinaga-Cunningham. 1986. Sedimentología y geoquímica de la laguna de La Paz, B. C. S., México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 83 pp.
- Green-Ruiz, C. y F. Páez-Osuna. Sometido. Heavy metal anomalies in sediments from Altata-Ensenada del Pabellón: a subtropical coastal lagoon associated with an agricultural drainage basin. *Environmental International*.
- Grim, R. 1968. Clay mineralogy. McGraw-Hill. New York. 596 pp.
- Gutiérrez-Galindo, E. A., G. Flores, R. Pro, J. A. Villaescusa y J. A. González. 1991. Metales pesados en tejido y en biodepositos sedimentarios del ostión *Crassostrea gigas* en la zona de cultivo de Bahía San Quintín, Baja California, México. *Inv. Mar. CICIMAR* 6(1): 175-186.
- Hamouda, M. S. y J- G. Wilson. 1989. Levels of heavy metals along the Libyan coastline. *Marine Pollution Bulletin* 20(12): 621-624.
- Hausback, B. P. 1984. Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur. En: Frizzell V. A. (ed), *Geology of Baja California Peninsula, Pacific section*. Society of Economic Paleontologist and Mineralogists 39: 219-236.
- Heath, G. R. y N. G. Pisias. 1979. A method for the quantitative estimation of clay minerals in North Pacific deep sea sediments. *Clays and clay minerals* 27(3): 175-184.
- Hirner, A., K. Kritsotakis y H. Tobschall, H. 1990. Metal-organoc associations in sediments – I, comparison of unpolluted recent and ancient sediments and sediments affected by anthropogenic pollution: *Applied Geochemistry* 5: 491-506.
- Hirschberg, D. J., P. Chin, H. Feng y J. K. Cochran. 1996. Dynamics of sediment and contaminant transport in the Hudson River Estuary: Evidence from sediment distribution of naturally occurring radionuclides. *Estuaries* 19(4): 931-949.
- Hodgson, J. F. 1960. Cobalt reactions with montmorillonite. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 24: 165-168.
- Horowitz, A. J. 1991. A primer on sediment-trace element chemistry. Lewis Publishers. Florida, USA. 136 pp.

- Horowitz, A. J. y K. Elrick. 1987. The relation of stream sediment surface area, grain size, and composition to trace element chemistry. *Applied geochemistry* 2: 437-451.
- Huang, W., R. Campredon, J. J. Abrao, M. Bernat y C. Latouche. 1994. Variation of heavy metals in recent sediments from Piratininga Lagoon (Brazil): Interpretation of geochemical data with the aid of multivariate analysis. *Environmental Geology* 23: 241-247.
- International Atomic Energy Agency. 1985. Intercompararison of trace element measurements in sediment sample SD-N ½. Report No. 24. IAEA, Monaco, 74 pp.
- International Atomic Energy Agency. 1990. The fate of agrochemicals in tropical coastal lagoon ecosystems. Progress Report Year 1. Contract No. CI 1-0387-ME (JR). Monaco.
- Inmann, D. y C. Nordstrom. 1971. On the tectonic and morphologic classification of coasts. *J. Geol.* 79(1): 1-21.
- Irion G. y G. Müller. 1987. Heavy metals in superficial sediments of the North Sea. Proc. Int. Conf. Heavy metals in the environment. New Orleans, LA, USA. 2: 38-41.
- Jackson, M. L. y C. H. Lim. 1981. The role of clay minerals in environment sciences. En: Van Olphen, H. y F. Veniale (eds) *Developments in Sedimentology* 35. Elsevier.
- Jenne, E. A. 1976. Trace element sorption by sediments and soil – sites and processes. En: Chappell, W. y K. Peterson (eds) *Symposium on molybdenum V.* 2 New York, Marcel-Dekker 425-553.
- Jenne, E. A. y S. N. Luoma. 1977. Forms of trace elements in soils, sediment and associated waters: An overview if their determination and biological availability. En: Wildung, R. E. y H. Drucker (eds) *Biological implications of metals in the environment: CONF-750929*, NTIS Springfield, VA: 110-143.
- Jenne, E., V. Kennedy, J. Burchard y J. Ball. 1980. Sediment collection and processing for selective extraction and for total metal analysis. En: Baker, R. (ed.), *Contaminants and sediments*, V. 2, Ann Arbor Science Publishers Inc. P. 169 – 189. Mich., USA..

- Jiménez-Illescas, A. 1996. Análisis de procesos barométricos y baroclínicos en la Bahía de La Paz, B. C. S. México. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. 193 pp.
- Jones, B. y A. Turki. 1997. Distribution and speciation of heavy metal in surficial sediments from the Tees Estuary, North-east England. *Marine Pollution Bulletin* 34(10): 768-779.
- Knebel, H. J., J. C. Kelly y J. T. Whetten. 1968. Clay minerals of the Columbia River: A qualitative, quantitative and statistical evaluation. *Journal of Sedimentary Petrology* 38(2): 600-611.
- Lankford, R. R. 1977. Coastal lagoons of México: their origin and classification. In *Estuarine Processes: Circulation, sediment and transfer of material in estuary*. Acad. Press, Inc., New York 2, 182-215.
- Leoni, L. y F. Sartori. 1996. Heavy metals and arsenic in sediments from the continental shelf of the Northern Tyrrhenian/Eastern Ligurian Seas. *Marine Environmental Research* 41(1): 73-98.
- Li, X., O. W. H. Wai, Y. S. Li, B. J. Coles, M. H. Ramsey e I. Thornton. 2000. Heavy metal distribution in sediment profiles of the Pearl River estuary, South China. *Applied Geochemistry* 15: 567-581.
- Long, E. R., D. D. MacDonald, , S. L. Smith y F. D. Calder. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management* 19(1): 81-97.
- Loring, D. H. 1981. Potential Bioavailability of Metals in Eastern Canadian Estuarine and Coastal Sediments. *Rapp. P.-v.- Cons. Int. Explor. Mer*, 181:93-101.
- Loring, D. H. 1990. Lithium – a new approach for the granulometric normalization of trace metal data. *Marine Chemistry* 29: 155-168.
- Loring, D. H. y R. T. T Rantala. 1992. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth Science Reviews*. 32:235-283.
- Lu, J. C. S. y K. Y. Chen. 1977. Migration of trace metals in interphases of seawater and polluted superficial sediments. *Environ. Sci. Technol.* 11: 174-182.

- Luoma, S. N. 1983. Bioavailability of Trace Metals to aquatic organisms - A review. *The Science of Total Environment* 28:1-22
- Luoma, S.N., E. A. Jenne. 1976. Estimating Bioavailability of Sediment-Bound Trace Metals with Chemical Extractants. *Trace Substances in Environmental Health. A symposium*. D. D. Hemphill. De.
- Luoma, S. N. y G. W. Bryan. 1981. A statistical assessment of the form of trace metals in oxidized estuarine sediments employing chemical extractants. *Sci. Total Environ.* 17: 165-196.
- Luoma, S.N., J.A. Davis. 1983. Requirements for modeling trace metal partitioning in oxidized estuarine sediments. *Marine Chemistry* 12:159-181.
- Manheim, F. T. 1961. A geochemical profile from the Baltic Sea. *Geochemical Cosmochemical Acta* 25: 52-70.
- Mann, S. S. y G. S. P. Ritchie. 1995. Forms of cadmium in sandy soils after amendment with soils of higher fixing capacity. *Environmental Pollution* 87: 23-29.
- Mann, U. y K. Fischer. 1982. The triangle method – semiquantitative determination of clay minerals. *Jour. Sedim. Petrol.* 52(2): 654-657.
- Mayer, T. y M. G. Jonson. 1994. History of anthropogenic activities in Hamilton Harbour as determined from the sedimentary record. *Environ. Pollut.* 86(3): 341-347.
- Mee, L. D., R. Cortés-Altamirano y L. M. García-de-la-Parra. 1984. Di-nitrogen fixation in a eutrophic tropical bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* 19: 477-483.
- Meguelliati, N., D. Robbe, P. Marchandise y M. Astruc. 1983. A new chemical extraction procedure in the fractionation of heavy metals in sediments-interpretation. *Proceedings of the International Conference Heavy Metals in the Environments*. Heidelberg.
- Méndez, L., B. Acosta, S. T. Alvarez-Castañeda y C. H. Lechuga-Devéze. 1998. Trace metal distribution along the southern coast of Bahía de La Paz (Gulf of California), México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 61: 616-622.
- Méndez, N. y M. Green. 1998. Superficial sediments and their relation to polychaete families in a subtropical embayment, Mexico. *Rev. Biol. Trop.* 46(2): 237-248.

- Mendoza-Maravillas, A. 1990. Razgos geomorfológicos, sedimentología y geoquímica de los sedimentos de la barrera arenosa El Mogote de la laguna de La Paz, B. C. S., México. Tesis de Licenciatura. Universidad autónoma de Baja California Sur, México. 86 pp.
- Montaño-Ley, Y. 1985. Estudio del transporte litoral de arenas en la Isla de la Piedra, Mazatlán, Sin. usando trazadores fluorescentes. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 12: 15-32.
- Montaño-Ley, Y., F. Páez -Osuna y R. Peraza Vizcarra. (en prensa). Suspended and bed load sediment transport through a coastal lagoon entrance in Mazatlán, Sinaloa, México. Rev. Int. Contam. Ambient.
- Morales, E. y H. Cabrera-Muro. 1982. Aplicación de un modelo numérico unidimensional a la Ensenada de La Paz, B. C. S. Ciencias Marinas 8(2): 69-89.
- Morgan, J. J. 1991. Chemical processes in the environment, relevance of chemical speciation. En: Merian E. (ed) Metals and their compounds in the environment. VCH, New York, pp. 67-103.
- Motulsky, H. 1995. Intuitive biostatistics. Oxford University Press Inc., New York, USA.
- Müller, G. 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen seit 1971. Umschau 79(24): 778-783.
- Munawar, M., R. Dermott y P. Ross. 1996. Sediment toxicity assessment in the North American Great Lakes: Evaluation of sampling and testing procedures. En: Munawar, M. y G. Dave (eds) Development and progress in Sediment Quality Assessment: Rationale, challenges, techniques and strategies. 255 pp.
- Nava-Sánchez, E. y R. Cruz-Orozco. 1989. Origen y evolución geomorfológica de la laguna de La Paz, Baja California Sur, México. Investigación Marina CICIMAR 4: 49-58.
- Naidu, S. D. y R. J. Morrison. 1994. Contamination of Suva Harbour, Fiji. Mar. Pollut. Bull. 29(1-3):126-130.
- Odum, E. P. 1980. The status of three ecosystem-level hypotheses regarding salt marsh estuaries: Tidal subsidy, outwelling and detritus-based food chains. En:

- Kennedy, V. S. (ed) Estuarine perspectives. Academic Press. New York, USA. pp. 485-496.
- Odum, E. P. y A. A. de la Cruz. 1967. Particulate organic detritus in a Georgia salt marsh-estuarine ecosystem. En Lauff, G. H. (ed) Estuaries. American Association of Advancement Science. Washington, D. C., USA pp. 383-387.
- Osuna, I. 1986. Evolución holocénica de la laguna de La Paz, B. C. S., México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. 57 pp.
- Osuna-López, J. I. 1981. Geoquímica de algunos oligoelementos presentes en las aguas hipersalinas y sedimentos de la Bahía de Céuta, Sinaloa. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar. Universidad Nacional Autónoma de México. 101 pp.
- Osuna-López, J. I., F. Páez-Osuna y P. Ortega-Romero. 1986. Cd, Co, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn en los sedimentos del puerto y antepuerto de Mazatlán. Ciencias marinas 12 (2): 35-45.
- Osuna-López, J.I., F. Páez-Osuna, C. Marmolejo-Rivas y P. Ortega-Romero. 1989. Metales Pesados disueltos y particulados en el Puerto de Mazatlán. An.Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 16(2):307-320
- Osuna-López, I., H. Zazueta-Padilla, M. Frías-Espericueta, G. Izaguirre-Fierro, G. López-López. 1997. Metales pesados en sedimentos superficiales del sistema Arroyo Jabalines – Estero del Infiernillo, Mazatlán, Sinaloa, México. Ciencias del Mar UAS 15: 43-49.
- Páez-Osuna, F. 1988. Geoquímica de los metales pesados en los sedimentos del mar de Cortes. Tesis de Doctorado en Ciencias del Mar. Universidad Nacional Autónoma de México. 391 pp.
- Páez-Osuna, F., H. Fernández y E. Mandelli. 1983. Mineralogía de los sedimentos de un núcleo de laguna Mitla, Guerrero, México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 10(1): 271-276.
- Páez-Osuna, F., M. L. Fong-Lee, H. Fernández-Pérez, R. Lozano-Santacruz y G. Villaseñor. 1984. Heavy metals and mineralogy in sediment cores from a tropical coastal lagoon, Mexico. Indian Journal of Marine Science 13: 153-158.

- Páez-Osuna, F., A. V. Botello y S. Villanueva. 1986. Heavy metals in Coatzacoalcos estuary and Ostion lagoon, México. *Marine Pollution Bulletin* 17(11): 516-519.
- Páez-Osuna, F., y J. I. Osuna-López. 1987. Acumulación de metales pesados en Mitla: una laguna costera tropical. *Ciencias Marinas*; 13(3): 97-112.
- Páez-Osuna, F. Y J. I. Osuna-López. 1990a. Heavy Metal distribution in geochemical fractions of surface sediments from the lower Gulf of California. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 17 (2): 287-298.
- Páez-Osuna, F., y J. I. Osuna-López. 1990b. Distribución del zinc en las diferentes fracciones químicas de los sedimentos superficiales del Bajo Golfo de California. *Ciencias Marinas* 16, 87-95.
- Páez-Osuna F. y J. I. Osuna-López. 1990c. Aspectos genéticos de los sedimentos marinos de la boca del Golfo de California evidenciados por la geoquímica de sus metales pesados. *Geofísica Internacional*, Vol. 29, pp. 47-58.
- Paéz-Osuna, F., y. Montaña-Ley y H. Bojorquez-Leyva. 1990. Intercambio de agua, fósforo y material suspendido entre el sistema lagunar del puerto de Mazatlán y las aguas costeras adyacentes. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 6: 19-32.
- Páez-Osuna, F. y J. I. Osuna-López. 1992. Diagénesis temprana de metales pesados en sedimentos del Pacífico adyacente a la boca del Golfo de California. *Geofísica Internacional* 31(3): 289-304.
- Páez-Osuna, F., J. I. Osuna-López, G. Izaguirre-Fierro Y H. M. Zazueta-Padilla. 1993. Heavy metals in clams from a subtropical coastal lagoon associated with an agricultural drainage basin. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 50: 915-921.
- Páez-Osuna, F., H. Bojórquez-Leyva y C. Green-Ruiz. 1998. Total carbohydrates:organic carbon in lagoon sediments as an indicator of organic effluents from agriculture and sugar-cane industry. *Environmental Pollution* 102: 321-326.
- Palanques, Al. y J. I. Diaz. 1994. Anthropogenic heavy metal pollution in the surface sediments of the Barcelona continental shelf (Northwestern Mediterranean). *Mar. Environ. Res.* 38: 17-31.

- Pandarínath, K., y A. C. Narayana. 1992. Clay Minerals and Trace Metal Association in the Gangolli Estuarine Sediments, West Coast of India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 35, 363-370.
- Park, J. y B. J. Presley. 1997. Trace metal contamination of sediments and organisms from the Swan Lake area of Galveston Bay. *Environmental Pollution* 98 (2): 209-221.
- Péna, G. y B. Picot. 1991. Métaux traces dans les sédiments d'une lagune méditerranéenne: l'étang de Thau. *Oceanologica Acta* 14(5):459-472.
- Pérez-Cid, B., I. Lavilla y C. Bendicho. 1998. Speeding up of a three-stage sequential extraction method for metal speciation using focused ultrasound. *Analytica Chimica Acta* 360: 35-41.
- Petrie, B. y P. Yeats. 1990. Simple models of the circulation, dissolved metals, suspended solids and nutrients in Halifax harbour. *Water Pollut. Res. J. Can.* 25(3): 325-349.
- Pica-Granados, Y., A. V. Botello y S. Villanueva. 1994. La contaminación por actividades petroleras en el Puerto de Salina Cruz, Oaxaca (1990-1991). Serie Grandes Temas de Hidrobiología: Los sistemas litorales. AUM-I, UNAM 2: 127-140.
- Ponce, G., A. González y L. Calva. 1994. Evaluación del impacto ambiental de la laguna Sontecomapán, Ver. Serie Grandes Temas de Hidrobiología: Los sistemas litorales. AUM-I, UNAM 2: 115-125.
- Rantala, R. T. T. y D. H. Loring. 1989. Teflon bomb decomposition of silicate materials in a microwave oven. *Analytica Chimica Acta* 220:263-267.
- Rauret, G.; Rubio, R.; López-Sánchez, J.F., y E. Casassas. 1987. Determination and especiation of copper of a river Mediterranean (River Tenes, Catalonia, Spain). *Wat. Res.* Vol. 22, No. 4, pp. 449-455.
- Ravizza, G. E. y M. H. Bothner. 1996. Osmium isotopes and silver as tracers of anthropogenic metals in sediments from Massachusetts and Cape Code bays. *Geochim. Cosmochim. Acta* 60: 2753-2763.

- Roden, G. I. 1958. Oceanographic and meteorological aspects of the gulf of California. *Pac. Sci.* 12: 21-45.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards, U. Alvarez-Rivera. 1986a. Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado Lagoon System, Veracruz, México. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 13 (3): 19-28.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards, U. Alvarez-Rivera. 1986b. Sedimentological and chemical studies in sediments from Papaloapan River, México. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 13 (3): 263-271.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards, y S. Santiago-Perez. 1994. Heavy metals in rocks and stream sediments from the Northwestern part of Baja California, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 10 (2), 77-82.
- Rosales-Hoz y A. Carranza-Edwards. 1998. Heavy metals in sediments from Coatzacoalcos river, Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 60: 553-561.
- Ruelas-Inzunza, J. 1998. Balanos (*Balanus eburneus*, *Fistolobalanus dentivarians* y *Megabalanus coccopoma*) como biomonitores de la contaminación por metales en las aguas del puerto de Mazatlán, Sin. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar. Universidad Nacional Autónoma de México. 121pp
- Ruiz-Fernández, C. 1999. Distribución espacial y temporal de metales pesados en sedimentos lacustres de la cuenca de México: Chalco, Texcoco y Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Tesis de Doctorado en Ciencias del Mar. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Samant, H. S., K. G. Doe y O. C. Vaidya. 1990. An integrated chemical and biological study of the bioavailability of metals in sediments from two contaminated harbours in New Brunswick, Canada. *Sci. Total Environ.* 96(3): 253-268.
- Sañudo-Wilhelmy, S. A. y A. R. Flegal. 1991. Trace element distributions in coastal waters along the US-Mexican boundary: relative contribution of natural processes vs. anthropogenic inputs. *Marine Chemistry* 33: 371-392.
- Sañudo-Wilhelmy, S. A. y A. R. Flegal. 1996. Trace metal concentrations in the surf zone and in coastal waters off Baja California, México. *Environmental Science and Technology* 30: 1575-1580.

- Schmidt, H. y C. E. Reimers. 1991. The recent history of trace metal accumulation in the Santa Barbara Basin, southern California borderland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 33(5): 485-500.
- Schoer, J. U., U. Nagel, D. Eggersgluess y U. Forstner. 1982. Metal contents in sediments from the Elbe, Weser and Ems estuaries and from the German Bight (southeastern North Sea). *Mitt. Geol-Palaeont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP special Vol. 52*: 687-702.
- Schropp, S. J. y H.L. Windom (eds). 1988. A guide to the interpretation of metal concentrations in estuarine sediments. Florida Department of Environmental Regulation.
- Schropp, S. J., F. Graham, H. L. Windom, J. Ryan, F. Calder y L. B, 1990. Interpretation of metal concentrations in estuarine sediments of Florida using Aluminum as a reference element. *Estuaries* 13(3): 227-235.
- Segovia-Zavala, J.A., F. Delgadillo-Hinojosa y S. Alvarez-Borrego. 1998. Cadmium in the Coastal Upwelling Area Adjacent to the California-Mexico Border. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 46:475-481.
- Senten, J. R. y R. H. Charlier. 1984. Composition of water and sediments in the Antwerp harbor. *Envir. Geol.* 5(3): 159-165.
- Sfriso, A., A. Marcomini y M. Zanette. 1995. Heavy metals in sediments, SPM and phytozoobenthos of the lagoon of Vence. *Marine Pollution Bulletin* 30(2): 116-124.
- Shen, G. T. y E. A. Boyle. 1987. Lead in corals: reconstruction of historical industrial fluxes to the surface ocean. *Earth and Planetary Science Letters* 82: 562-564.
- Shepard, F. 1973. *Submarine geology*. Harper and Row . New York. 517 pp.
- Shriadah, M. A. 1998. Metals pollution in marine sediments of the United Arab Emirates creeks along the Arabian Gulf shoreline. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 60: 417-424.
- Smith, S. L., D. D. MacDonald, K. A. Keenleyside y C. L. Gaudet. 1996. The development and implementation of Canadian Sediment Quality Guidelines. En: Munawar, M. y G. Dave (eds) *Development and progress in Sediment Quality*

- Assessment: Rationale, challenges, techniques and strategies. SPB Academic Publishing bv. The Netherlands. 255 pp.
- Soto-Jiménez, M. 1998. Distribución y concentración de metales pesados en sedimentos del Puerto de Mazatlán y áreas adyacentes: su normalización y fraccionamiento geoquímico. Tesis de Maestría en Ciencias del Mar. Universidad Nacional Autónoma de México. 245 pp.
- Summers, J. K., T. L. Wade y V. D. Engle. 1996. Normalization of Metal Concentrations in Estuarine Sediments From the Gulf of Mexico. *Estuaries* 19(3):581-594.
- Szefer, P. y B. Skwarzec. 1988. Distribution and possible sources of some elements in the sediment cores of the southern Baltic. *Marine Chemistry* 23: 109-129.
- Szefer, P., G. P. Glasby, J. Pempkowiak y R. Kaliszan. 1995. Extraction studies of heavy-metal pollutants in surficial sediments from the southern Baltic Sea off Poland. *Chemical Geology* 120: 111-126.
- Szefer, P., K. Szefer, G. P. Glasby, J. Pempkowiak, R. Kaliszan. 1996. Heavy-metal pollution in surficial sediments from the southern Baltic Sea off Poland. *Journal of Environmental Science & Health, Part A: Environmental Science Engineering, Toxic & Hazardous Substance Control* A31(10): 2723-2754.
- Tam, N. F. Y.; y M. W. Y. Yao. 1998. Normalisation and heavy metal contamination in mangrove sediments. *The Science of the Total Environment* 216: 33-39.
- Taylor, S. R. (1964) Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochim. Cosmochim. Acta* 28, 1273-1286
- Tessier, A., P. G. C. Campbell y M. Bisson. 1979. Sequential extraction procedure for especiation of particulate trace metals. *Analyt. Chem.* 51: 844-851.
- Undabeytia, T., S. Nir, G. Rytwo, E. Morillo y C. Maqueda. 1998. Modeling adsorption-desorption processes of Cd on montmorillonite. *Clays and Clay minerals* 46 (4): 423-428.
- Vázquez Botello, A., y F. Páez-Osuna. 1986. Medio ambiente en Coatzacoalcos. El problema crucial la contaminación. Centro de Ecodesarrollo, México. 62-85.

- Venugopal, B. y T. D. Luckey. 1975. Toxicology of non-radioactive heavy metals and their salts. En: Heavy metals toxicity , safety and hormology. Luckey, T. D., Venugopal, B, y Hutchenson D. (eds) Stuttgart: Thieme: 4-73.
- Villaescusa-Celaya, J. A., E. A. Gutiérrez-Galindo y G. Flores -Muñoz. 2000. Heavy metals in the fine fraction of coastal sediments from Baja California (Mexico) and California (USA). *Environmental Pollution* 108:453-462.
- Voutsinou-Taliadouri, F. y S. P. Varnavas. 1995. Geochemical and sedimentological patterns in the Thermaikos Gulf, North-west Aegean Sea, formed from a multisource of elements. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 40: 295-320.
- Walkley, A. e I. A. Black. 1934. An examination of the Degthareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 27: 29-38.
- Weaver, C. E. 1989. Clays, muds and shales. *Developments in sedimentology*. Elsevier, Amsterdam, 819 pp.
- Wedepohl K. H. ed. (1969-1978) "Handbook of Geochemistry", Vol 1. Springer-Verlag, Berlin
- Zar, J. H. 1984. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA. 718 pp.
- Zwolsman, J. J., G. T. M. van Eck y G. G. Burger. 1996. Spatial and Temporal Distribution of Trace Metals in Sediments from the Scheldt Estuary, South-west Netherlands. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 43:55-79.

ANEXOS

- I Granulometría y mineralogía de los sedimentos de la Bahía de Mazatlán.
- II Porcentaje de carbonatos y carbono orgánico de la Bahía de Mazatlán.
- III Concentración total de metales pesados en sedimentos de la Bahía de Mazatlán.
- IV Factor de enriquecimiento en los sedimentos de la Bahía de Mazatlán, usando Li como elemento conservativo.
- V Índice de geoacumulación en los sedimentos de la Bahía de Mazatlán.
- VI Porcentaje de biodisponibilidad potencial de los metales pesados en la Bahía de Mazatlán.
- VII Concentración de carbonatos, carbono orgánico y metales pesados en el núcleo El Rastro, Mazatlán.
- VIII Análisis de componentes principales en sedimentos superficiales de la Bahía de Mazatlán.
- IX Componentes de las concentraciones de metales pesados en los sedimentos superficiales de la Bahía de Mazatlán, relacionadas con el emisor de aguas municipales.
- X Granulometría y mineralogía de los sedimentos de las Bahías de Ohuira y Topolobampo.
- XI Porcentaje de carbonatos y carbono orgánico de las Bahías de Ohuira y Topolobampo.
- XII Concentración total de metales pesados en sedimentos de las Bahías de Ohuira y Topolobampo.
- XIII Factor de enriquecimiento en los sedimentos de las Bahías de Ohuira y Topolobampo, usando Al como elemento conservativo.
- XIV Factor de enriquecimiento en los sedimentos de las Bahías de Ohuira y Topolobampo, usando Li como elemento conservativo.
- XV Índice de geoacumulación en los sedimentos de las Bahías de Ohuira y Topolobampo.
- XVI Porcentaje de biodisponibilidad potencial de los metales pesados en las Bahías de Ohuira y Topolobampo.
- XVII Concentración de carbonatos, carbono orgánico y metales pesados en el núcleo OH5, Bahía de Ohuira.
- XVIII Análisis de componentes principales en sedimentos superficiales de las Bahías de Ohuira y Topolobampo.
- XIX Granulometría y mineralogía de los sedimentos de la Bahía de Guaymas.
- XX Porcentaje de carbonatos y carbono orgánico de la Bahía de Guaymas.
- XXI Concentración total de metales pesados en sedimentos de la Bahía de Guaymas.
- XXII Factor de enriquecimiento en los sedimentos de la Bahía de Guaymas, usando Al como elemento conservativo.
- XXIII Factor de enriquecimiento en los sedimentos de la Bahía de Guaymas, usando Li como elemento conservativo.

- XXIV Índice de geoacumulación en los sedimentos de la Bahía de Guaymas.
- XXV Porcentaje de biodisponibilidad potencial de los metales pesados en la Bahía de Guaymas.
- XXVI Concentración de carbonatos, carbono orgánico y metales pesados en el núcleo GYN, Bahía de Guaymas.
- XXVII Análisis de componentes principales en sedimentos superficiales de la Bahía de Guaymas.
- XXVIII Porcentaje de carbonatos y carbono orgánico de la Laguna de La Paz.
- XXIX Concentración total de metales pesados en sedimentos de la Laguna de la Paz.
- XXX Factor de enriquecimiento en los sedimentos de la Laguna de la Paz, usando Al como elemento conservativo.
- XXXI Factor de enriquecimiento en los sedimentos de la Laguna de la Paz, usando Li como elemento conservativo.
- XXXII Índice de geoacumulación en los sedimentos de la Laguna de La Paz.
- XXXIII Porcentaje de biodisponibilidad potencial de los metales pesados en la Laguna de La Paz.
- XXXIV Análisis de componentes principales en sedimentos superficiales de la Laguna de La Paz.

Anexo I

Granulometría y mineralogía de los sedimentos de la Bahía de Mazatlán, Sin.

Muestra	% Arena	% Limo	% Arcilla	Nomenclatura	%(L + arc)
Mz1	53.1	40.5	6.4	Arena limosa	46.9
Mz2	80.4	16.4	3.2	Arena	19.6
Mz3	86.1	9.8	4.2	Arena	13.9
Mz4	68.7	27.5	3.8	Arena limosa	31.3
Mz5	88.2	8.3	3.5	Arena	11.8
Mz6	77.2	18.5	4.3	Arena limosa	22.8
Mz7	81.2	13.7	5.1	Arena	18.8
Mz9	85.6	12.0	2.4	Arena	14.4
Mz10	92.1	4.3	3.6	Arena	7.9
Mz11	86.4	10.0	3.6	Arena	13.6
Mz12	75.5	20.2	4.3	Arena limosa	24.5
Mz13	78.4	17.6	4.0	Arena limosa	21.6
Mz14	63.4	30.0	6.6	Arena limosa	36.6
Mz15	64.7	30.5	4.8	Arena limosa	35.3
Mz16	90.8	5.5	3.7	Arena	9.2
Mz17	63.6	32.1	4.3	Arena limosa	36.4
Mz18	83.7	13.0	3.4	Arena	16.3
Mz19	74.1	21.4	4.5	Arena limosa	25.9
Mz20	62.9	32.9	4.3	Arena limosa	37.1
Mz21	93.6	3.8	2.6	Arena	6.4
Mz22	88.3	7.8	3.9	Arena	11.7
Mz23	94.5	2.9	2.6	Arena	5.5
Mz24	46.7	43.4	9.9	Arena limosa	53.3
Mz25	77.5	19.4	3.0	Arena limosa	22.5
Mz26	87.3	8.4	4.3	Arena	12.7
Mz27	90.5	6.7	2.8	Arena	9.5
Mz28	57.5	36.9	5.6	Arena limosa	42.5
Mz29	55.4	39.4	5.2	Arena limosa	44.6
Mz30	50.2	44.3	5.6	Arena limosa	49.8
Promedio	75.8	19.9	4.3		24.22
Desv. est.	14.2	13.1	1.5		14.2

Mont. (%)	Illita (%)	Caolinita (%)	I/C
6.2	27.5	66.3	0.4
5.5	34.7	59.8	0.6
16.5	24.4	59.1	0.4
13.4	44.6	42.0	1.1
1.2	73.1	25.7	2.8
8.3	35.5	56.2	0.6
0.7	61.6	37.7	1.6
3.8	36.6	59.6	0.6
3.5	30.7	65.9	0.5
2.7	54.1	43.2	1.3
3.7	39.3	57.0	0.7
4.4	36.0	59.7	0.6
9.2	38.1	52.7	0.7
7.7	28.1	64.2	0.4
6.21	40.30	53.49	0.88
4.5	13.8	11.9	0.7

Anexo II

Porcentaje de carbonatos y C orgánico en los sedimentos de la Bahía de Mazatlán, Sin.

Muestra	Carbonatos	C-org
MZ1	4.0	0.32
MZ2	1.6	0.13
MZ3	2.7	0.20
MZ4	7.0	1.20
MZ5	37.1	0.45
MZ6	29.2	0.28
MZ7	7.7	0.39
MZ9	9.9	0.18
MZ10	26.2	0.06
MZ11	12.6	0.26
MZ12	55.6	0.16
MZ13	9.5	0.24
MZ14	19.3	0.43
MZ15	17.9	0.41
MZ16	76.7	0.24
MZ17	18.5	0.40
MZ18	19.2	0.23
MZ19	15.2	0.30
MZ20	15.8	0.45
Mz-21	8.8	0.22
Mz-22	2.1	0.15
Mz-23	86.4	0.30
Mz-24	3.6	0.67
Mz-25	3.1	0.43
Mz-26	5.3	0.34
Mz-27	3.0	0.17
Mz-28	1.8	0.08
Mz-29	2.5	0.17
Mz-30	1.1	0.76
Prom.	17.4	0.33
Desv. est.	21.7	0.23

Anexo III
 Concentración total de metales pesados en sedimentos de la Bahía de Mazatlán , Sin.

Muestra	Al (%)	Cd (ug/g)	Co. (ug/g)	Cr (ug/g)	Cu (ug/g)	Fe (%)	Li (ug/g)	Mn (ug/g)	Ni (ug/g)	Pb (ug/g)	Zn (ug/g)
MZ1	8.6	3.2	43.8	30.0	7.8	3.2	6.1	649	24.7	60.9	79.5
MZ2	8.9	3.1	41.1	30.3	6.7	2.8	9.1	511	24.6	50.9	92.2
MZ3	7.7	2.6	41.5	26.7	5.7	2.5	8.0	570	23.6	72.0	91.8
MZ4	8.1	4.0	41.9	27.1	16.5	2.7	9.1	394	23.6	62.8	122.4
MZ5	7.2	3.8	42.1	22.3	9.1	2.0	6.5	416	22.2	56.1	69.1
MZ6	8.0	3.6	45.3	37.1	7.7	3.2	7.1	652	16.9	33.4	95.7
MZ7	7.8	3.2	45.7	29.8	8.2	2.8	7.4	482	25.0	51.4	90.8
MZ9	8.2	3.3	47.0	26.8	6.5	2.7	7.6	528	21.8	38.8	91.1
MZ10	7.5	3.3	40.5	31.4	4.3	2.8	6.7	641	14.6	69.3	70.9
MZ11	7.4	3.5	43.7	36.9	5.6	3.4	7.0	753	17.1	82.6	86.7
MZ12	8.1	3.5	48.8	40.5	5.1	3.5	8.5	800	24.4	81.3	94.8
MZ13	8.1	3.1	46.1	29.8	5.5	2.6	7.9	614	18.0	73.1	78.4
MZ14	8.0	3.0	43.8	35.1	5.2	2.6	8.6	706	19.1	100.8	87.9
MZ15	7.8	2.9	35.0	32.9	5.1	2.5	8.5	633	22.7	43.8	83.5
MZ16	1.6	2.9	18.8	18.9	3.0	0.4	2.1	230	14.0	87.5	30.7
MZ17	7.6	2.8	40.3	40.0	5.4	2.9	8.3	745	13.5	76.0	89.8
MZ18	6.9	2.7	33.3	46.5	4.2	2.6	7.2	612	17.4	79.6	97.8
MZ19	8.0	2.2	39.1	33.2	5.1	2.6	8.8	608	16.0	88.7	94.4
MZ20	7.3	2.8	34.1	29.8	3.7	2.4	8.7	564	16.1	78.2	87.5
Mz-21	6.1	2.7	39.0	26.5	4.6	2.1	6.5	500	23.8	50.2	66.5
Mz-22	5.9	2.4	35.8	26.8	3.5	2.5	7.3	581	21.7	41.3	69.0
Mz-23	0.4	4.0	20.0	10.6	5.8	0.3	1.5	273	22.7	73.6	19.6
Mz-24	3.6	3.7	32.5	22.6	11.5	1.6	7.2	410	25.6	80.3	76.0
Mz-25	6.7	3.7	46.5	40.5	7.8	3.2	7.1	649	34.9	47.4	81.4
Mz-26	6.7	3.4	41.3	34.8	6.4	3.0	6.7	564	34.5	62.0	78.8
Mz-27	6.7	3.4	43.2	31.7	3.8	2.2	7.5	499	30.9	43.6	70.0
Mz-28	6.8	3.0	43.9	35.6	2.5	3.0	8.7	643	32.4	63.9	94.8
Mz-29	7.1	3.0	48.3	32.0	3.8	2.7	9.8	624	36.0	50.8	93.5
Mz-30	7.3	3.4	45.6	32.3	12.9	3.0	10.3	650	33.1	61.1	99.3
Prom.	6.9	3.2	40.3	31.0	6.3	2.6	7.4	569	23.1	64.2	82.2
Desv. est.	1.9	0.5	7.3	7.2	3.1	0.7	1.9	132	6.5	17.2	19.7

Anexo IV

Factor de enriquecimiento (Buat-Menard, 1979) en los sedimentos de la Bahía de Mazatlán.
Usando Li como elemento conservativo

Muestra	Cr	Fe	Mn	Zn
MZ1	1.5	3.4	3.2	4.9
MZ2	1.0	2.0	1.7	3.8
MZ3	1.0	2.0	2.1	4.3
MZ4	0.9	1.9	1.3	5.0
MZ5	1.0	2.0	1.9	4.0
MZ6	1.6	2.9	2.8	5.1
MZ7	1.2	2.5	2.0	4.6
MZ9	1.1	2.3	2.1	4.5
MZ10	1.4	2.7	2.9	4.0
MZ11	1.6	3.1	3.2	4.6
MZ12	1.4	2.6	2.8	4.2
MZ13	1.1	2.2	2.3	3.7
MZ14	1.2	1.9	2.5	3.8
MZ15	1.2	1.9	2.2	3.7
MZ16	2.7	1.3	3.3	5.5
MZ17	1.4	2.2	2.7	4.0
MZ18	1.9	2.4	2.6	5.1
MZ19	1.1	1.9	2.1	4.0
MZ20	1.0	1.8	1.9	3.8
Mz-21	1.2	2.0	2.3	3.8
Mz-22	1.1	2.2	2.4	3.5
Mz-23	2.1	1.4	5.4	4.8
Mz-24	0.9	1.4	1.7	4.0
Mz-25	1.7	2.9	2.7	4.3
Mz-26	1.6	2.9	2.5	4.4
Mz-27	1.3	1.9	2.0	3.5
Mz-28	1.2	2.2	2.2	4.1
Mz-29	1.0	1.8	1.9	3.6
Mz-30	0.9	1.9	1.9	3.6
Promedio	1.3	2.2	2.4	4.2
Desv. est.	0.4	0.5	0.7	0.5

Anexo V

Índice de geoacumulación (Muller, 1979), en los sedimentos de la Bahía de Mazatlán, Sin.

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
MZ1	4.4	-2.3	-3.3	-1.1	-1.2	-2.2	-0.6
MZ2	4.3	-2.3	-3.5	-1.3	-1.6	-2.2	-0.4
MZ3	4.1	-2.5	-3.7	-1.5	-1.4	-2.3	-0.4
MZ4	4.7	-2.5	-2.2	-1.4	-1.9	-2.3	0.0
MZ5	4.7	-2.8	-3.0	-1.8	-1.9	-2.3	-0.8
MZ6	4.6	-2.0	-3.3	-1.1	-1.2	-2.7	-0.3
MZ7	4.4	-2.3	-3.2	-1.3	-1.6	-2.2	-0.4
MZ9	4.5	-2.5	-3.5	-1.4	-1.5	-2.4	-0.4
MZ10	4.5	-2.3	-4.1	-1.3	-1.2	-2.9	-0.8
MZ11	4.6	-2.0	-3.7	-1.0	-1.0	-2.7	-0.5
MZ12	4.5	-1.9	-3.9	-1.0	-0.9	-2.2	-0.3
MZ13	4.4	-2.3	-3.8	-1.4	-1.3	-2.6	-0.6
MZ14	4.3	-2.1	-3.8	-1.4	-1.1	-2.6	-0.4
MZ15	4.3	-2.2	-3.9	-1.5	-1.2	-2.3	-0.5
MZ16	4.3	-3.0	-4.6	-4.0	-2.7	-3.0	-2.0
MZ17	4.2	-1.9	-3.8	-1.3	-1.0	-3.1	-0.4
MZ18	4.2	-1.7	-4.2	-1.4	-1.3	-2.7	-0.3
MZ19	3.9	-2.2	-3.9	-1.4	-1.3	-2.8	-0.3
MZ20	4.2	-2.3	-4.3	-1.5	-1.4	-2.8	-0.5
Mz-21	4.2	-2.5	-4.0	-1.8	-1.6	-2.2	-0.9
Mz-22	4.0	-2.5	-4.4	-1.5	-1.4	-2.4	-0.8
Mz-23	4.7	-3.8	-3.7	-4.4	-2.5	-2.3	-2.6
Mz-24	4.6	-2.7	-2.7	-2.2	-1.9	-2.1	-0.7
Mz-25	4.6	-1.9	-3.3	-1.1	-1.2	-1.7	-0.6
Mz-26	4.5	-2.1	-3.5	-1.2	-1.4	-1.7	-0.6
Mz-27	4.5	-2.2	-4.3	-1.6	-1.6	-1.9	-0.8
Mz-28	4.3	-2.1	-4.9	-1.2	-1.2	-1.8	-0.3
Mz-29	4.3	-2.2	-4.3	-1.4	-1.3	-1.6	-0.4
Mz-30	4.5	-2.2	-2.5	-1.2	-1.2	-1.8	-0.3
Promedio	4.4	-2.3	-3.7	-1.6	-1.4	-2.3	-0.6
Desv. est.	0.2	0.4	0.6	0.8	0.4	0.4	0.5

Anexo VI

Porcentaje de biodisponibilidad potencial con respecto a la concentración total de metales pesados en la Bahía de Mazatlán, Sin.

Muestra	Cd	Cu	Fe	Pb	Zn
MZ1	11.7	36.1	7.1	33.9	24.3
MZ2	9.9	22.6	7.9	22.4	16.8
MZ3	12.5	24.7	8.6	17.4	14.8
MZ4	20.8	44.6	8.2	41.1	28.8
MZ5	22.1	36.9	10.9	41.9	23.6
MZ6	14.6	28.1	6.8	67.0	19.7
MZ7	13.8	24.6	7.7	26.6	19.4
MZ9	19.5	27.7	8.3	52.7	18.2
MZ10	24.5	21.9	7.3	27.0	11.9
MZ11	23.6	20.1	6.4	29.5	14.2
MZ12	12.2	23.2	6.0	17.6	9.7
MZ13	22.1	20.4	7.0	29.2	12.2
MZ14	19.3	18.0	8.5	22.0	14.8
MZ15	24.2	20.2	8.5	47.5	14.1
MZ16	52.5	68.8	42.5	33.8	18.5
MZ17	25.2	21.0	7.4	32.0	14.6
MZ18	36.8	31.3	8.0	31.1	12.9
MZ19	35.0	22.4	8.1	23.5	14.8
MZ20	28.0	33.2	8.9	30.5	16.2
Mz-21	19.1	24.5	9.9	37.2	17.2
Mz-22	19.4	35.4	8.3	40.0	18.4
Mz-23	42.1	63.9	46.1	34.8	23.9
Mz-24	44.1	36.6	12.8	48.7	21.1
Mz-25	12.8	18.1	6.5	35.8	18.0
Mz-26	21.9	26.4	6.7	25.9	17.6
Mz-27	14.2	31.3	9.1	34.8	16.5
Mz-28	13.1	71.8	6.9	34.1	16.7
Mz-29	20.4	58.2	7.8	50.5	22.1
Mz-30	14.3	21.8	7.0	43.3	20.3
Prom.	22.4	32.2	10.5	34.9	17.6
Desv. est.	10.6	15.2	9.5	11.2	4.2

Anexo VII

Concentración de carbonatos, C orgánico y metales pesados en el Núcleo Rastro, Mazatlán, Sin.

Sección (cm)	CaCO ₃ (%)	C-org (%)	Al (%)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Li (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu/Zn
0.5	0.8	2.0	6.2	3.0	35.7	33.5	32.2	2.8	9.0	354.2	40.4	71.9	144.6	0.22
1.5	0.2	2.1	6.2	3.4	40.0	35.7	32.9	2.9	8.8	346.5	36.5	69.4	140.5	0.23
2.5	0.4	2.3	5.8	2.4	34.6	30.7	36.3	2.5	8.3	349.9	31.1	56.3	105.2	0.35
3.5	0.0	2.2	6.7	3.0	34.6	28.0	35.7	2.6	7.9	357.8	32.7	60.4	132.1	0.27
4.5	0.9	2.1	6.5	2.7	37.7	27.7	33.3	2.7	7.5	379.2	35.0	54.4	128.3	0.26
5.5	1.1	1.9	6.7	2.4	39.4	27.1	29.9	2.5	8.2	355.4	31.7	58.8	116.0	0.26
6.5	2.4	1.5	6.7	2.4	39.2	27.8	24.1	2.4	6.9	349.6	33.3	50.5	119.4	0.20
7.5	0.7	1.8	6.9	3.0	42.1	26.7	29.5	2.6	7.7	363.0	35.3	83.4	122.5	0.24
8.5	2.3	2.1	6.8	2.7	41.8	29.2	33.1	2.5	7.9	370.8	34.3	68.1	104.8	0.32
9.5	1.8	1.5	6.3	2.4	33.6	29.1	24.1	2.5	7.8	358.3	33.3	64.9	120.4	0.20
10.5	2.0	1.4	6.6	2.4	45.8	29.3	22.7	2.6	9.9	361.9	34.6	57.9	148.5	0.15
11.5	2.3	1.8	6.7	2.4	41.8	22.4	28.2	2.6	8.3	374.0	35.7	64.3	124.5	0.23
12.5	1.9	1.9	5.9	2.0	36.5	23.9	30.5	2.5	7.5	380.5	33.7	56.1	107.5	0.28
13.5	2.1	1.8	5.8	2.5	38.7	23.0	29.0	2.7	9.0	413.9	39.9	66.3	124.5	0.23
14.5	4.0	1.9	6.3	2.7	43.8	25.3	30.6	2.5	8.2	401.9	39.5	78.4	125.3	0.24
17.5	6.7	1.6	6.1	3.4	43.4	32.1	25.6	2.9	7.0	411.0	38.8	50.6	91.9	0.28
22.5	3.7	1.8	6.1	2.0	42.3	29.6	29.6	2.9	7.7	413.3	41.0	52.5	95.4	0.31
27.5	6.2	1.9	6.6	2.4	43.3	30.7	30.7	3.1	8.2	442.5	45.5	50.5	87.7	0.35
32.5	1.6	1.9	5.7	1.7	34.5	31.8	30.5	3.1	8.1	317.5	43.3	88.5	154.2	0.20
Prom.	2.2	1.9	6.3	2.6	39.4	28.6	29.9	2.7	8.1	373.8	36.6	63.3	120.7	0.25
esv. est	1.8	0.2	0.4	0.4	3.7	3.5	3.8	0.2	0.7	30.5	4.0	11.2	18.8	0.05

Anexo VIII

Análisis de componentes principales (cargas por muestra).

Muestra	Componente 1	Componente 2	Componente 3
Mz-1	0.44	0.29	0.12
Mz-2	0.38	-0.37	0.74
Mz-3	0.24	-0.53	-0.13
Mz-4	0.10	3.41	0.16
Mz-5	-0.89	0.59	0.76
Mz-6	0.42	-0.11	0.68
Mz-7	0.10	0.24	0.85
Mz-9	0.10	-0.44	1.21
Mz-10	-0.03	-1.01	-0.33
Mz-11	0.58	-0.35	-0.67
Mz-12	0.90	-0.44	-0.62
Mz-13	0.32	-0.33	-0.34
Mz-14	0.70	0.31	-1.74
Mz-15	0.25	-0.09	0.02
Mz-16	-2.84	-0.63	-1.51
Mz-17	0.83	-0.07	-1.59
Mz-18	0.47	-0.69	-1.35
Mz-19	0.64	-0.37	-1.73
Mz-20	0.21	0.16	-1.40
Mz-21	-0.53	-0.92	0.69
Mz-22	-0.21	-1.30	0.55
Mz-23	-3.53	0.10	0.05
Mz-24	-0.92	2.18	-0.46
Mz-25	0.37	0.22	1.52
Mz-26	0.00	-0.16	1.09
Mz-27	-0.27	-0.84	1.62
Mz-28	0.74	-0.60	0.38
Mz-29	0.68	-0.27	1.06
Mz-30	0.77	2.02	0.40

Anexo IX

Componentes de las concentraciones de metales pesados en sedimentos superficiales de la Bahía de Mazatlán, provenientes del emisor de aguas municipales, modelo de Ravizza y Bothner (1996).

Muestra	Comp-Cu	Comp-Fe	Comp-Li	Comp-Zn
MZ1	16.6	51.0	19.7	38.1
MZ2	13.1	44.3	32.4	46.1
MZ3	10.1	39.2	27.9	45.9
MZ4	44.0	42.0	32.5	65.3
MZ5	20.7	30.4	21.5	31.5
MZ6	16.4	52.2	23.9	48.4
MZ7	18.0	44.9	25.3	45.2
MZ9	12.5	42.3	26.1	45.4
MZ10	5.7	44.9	22.3	32.6
MZ11	9.8	55.0	23.5	42.6
MZ12	8.2	56.2	30.2	47.8
MZ13	9.3	41.5	27.2	37.4
MZ14	8.6	40.2	30.3	43.4
MZ15	8.3	38.7	30.0	40.6
MZ16	1.7	1.8	2.4	7.1
MZ17	9.1	45.8	29.2	44.6
MZ18	5.4	41.5	24.3	49.7
MZ19	8.0	41.0	31.2	47.5
MZ20	3.8	37.5	30.9	43.2
Mz-21	6.6	31.0	21.6	29.8
Mz-22	3.1	38.6	25.0	31.4
Mz-23	10.2			
Mz-24	28.1	22.1	24.4	35.8
Mz-25	16.6	51.8	24.2	39.3
Mz-26	12.3	48.2	22.2	37.6
Mz-27	4.0	34.0	25.7	32.0
Mz-28		48.3	31.0	47.8
Mz-29	4.1	42.4	35.6	47.0
Mz-30	32.8	48.8	37.9	50.6
Promedio	12.4	41.3	26.4	41.2
Desv. est.	9.5	10.9	6.5	10.1

Anexo X

Granulometría y mineralogía de los sedimentos de la Bahía de Ohuira-Topolobampo, Sin.

Muestra	% Arena	% Limo	% Arcilla	Nomenclatura	% (L + arc)
Oh1	7.6	82.2	10.3	Limo	92.4
Oh2	2.1	92.3	5.6	Limo	97.9
Oh3	1.0	88.3	10.7	Limo	99.0
Oh4	38.2	52.2	9.6	Limo arenoso	61.8
Oh6	8.7	83.3	8.0	Limo	91.3
Oh7	6.0	82.8	11.2	Limo	94.0
Oh8	0.5	90.7	8.8	Limo	99.5
Oh9	0.0	91.9	8.1	Limo	100.0
Oh10	23.4	66.9	9.7	Limo arenoso	76.6
Oh11	37.5	54.3	8.2	Limo arenoso	62.5
Oh12	88.8	8.1	3.0	Arena	11.2
Oh13	73.6	19.7	6.7	Arena limosa	26.4
Oh14	60.5	30.9	8.6	Arena limosa	39.5
Oh15	19.4	72.0	8.6	Limo arenoso	80.6
Oh16	63.0	29.9	7.1	Arena limosa	37.0
Oh17	46.3	47.6	6.2	Limo arenoso	53.7
Oh18	63.1	30.6	6.3	Arena	36.9
Oh19	71.2	24.0	4.8	Arena limosa	28.8
Oh20	60.1	31.7	8.2	Arena limosa	39.9
Oh21	64.7	27.8	7.4	Arena limosa	35.3
Oh22	86.7	9.3	4.1	Arena	13.3
Oh23	65.1	28.3	6.7	Arena limosa	34.9
Oh24	2.3	89.3	8.5	Limo	97.7
Oh25	37.6	56.5	5.9	Limo arenoso	62.4
Oh26	68.7	23.8	7.5	Arena limosa	31.3
Oh27	90.3	5.8	3.8	Arena	9.7
Oh28	100.0	0.0	0.0	Arena	0.0
Oh29	61.7	33.1	5.2	Arena limosa	38.3
Oh30	69.3	22.9	7.8	Arena limosa	30.7
Oh31	29.4	61.1	9.5	Limo arenoso	70.6
Oh32	91.8	4.4	3.7	Arena	8.2
Oh33	100.0	0.0	0.0	Arena	0.0
Oh34	82.3	13.8	3.9	Arena	17.7

Mont. (%)	Illita (%)	Caolinita (%)	I/C
3.0	43.4	53.6	0.8
4.0	32.8	63.2	0.5
10.5	42.2	47.3	0.9
5.6	42.6	51.7	0.8
4.4	41.5	54.0	0.8
4.6	38.8	56.6	0.7
4.2	45.8	50.0	0.9
7.5	44.4	48.1	0.9
2.7	37.5	59.8	0.6
3.8	40.7	55.5	0.7
7.3	39.2	53.6	0.7
5.7	42.4	51.9	0.8
1.7	51.2	47.0	1.1

Anexo X (Continuación)

Granulometría y mineralogía de los sedimentos de la Bahía de Ohuira-Topolobampo, Sin.

Muestra	% Arena	% Limo	% Arcilla	Nomenclatura	% (L + arc)
Oh35	92.5	4.8	2.7	Arena	7.5
Oh36	93.3	4.3	2.4	Arena	6.7
Oh37	64.1	30.5	5.4	Arena limosa	35.9
Oh38	92.8	5.0	2.2	Arena	7.2
Oh39	89.7	6.7	3.6	Arena	10.3
Oh40	88.1	8.2	3.7	Arena	11.9
Oh41	93.9	3.7	2.4	Arena	6.1
Oh42	91.3	5.9	2.7	Arena	8.7
Promedio	56.7	37.2	6.1		43.3
Desv. est.	33.7	31.4	2.9		33.7

Mont. (%)	Illita (%)	Caolinita (%)	I/C
2.1	51.5	46.4	1.1
13.7	43.9	42.4	1.0
2.2	53.1	44.7	1.2
5.2	43.2	51.6	0.9
3.2	5.3	5.6	0.2

Anexo XI

Porcentaje de carbonatos y C orgánico en los sedimentos de la Bahía de Ohuira - Topolobampo, Sin.

Muestra	Carbonatos	C-org
Oh-1	2.2	2.1
Oh-2	9.2	2.2
Oh-3	14.0	3.7
Oh-4	20.3	3.2
Oh-5	9.9	2.7
Oh-6	7.5	1.7
Oh-7	8.4	1.8
Oh-8	3.3	2.4
Oh-9	25.3	1.4
Oh-10	24.9	2.2
Oh-11	30.0	1.2
Oh-12	36.1	0.4
Oh-13	27.9	0.8
Oh-14	77.1	1.1
Oh-15	15.9	1.3
Oh-16	25.0	0.6
Oh-17	14.2	0.8
Oh-18	nd	0.6
Oh-19	12.6	0.7
Oh-20	15.4	0.8
Oh-21	58.0	0.7
Oh-22	5.7	1.0

Muestra	Carbonatos	C-org
Oh-23	0.5	1.9
Oh-24	2.7	1.9
Oh-25	48.4	1.0
Oh-26	82.5	0.8
Oh-27	12.5	0.5
Oh-28	87.7	0.8
Oh-29	20.8	1.0
Oh-30	3.0	0.7
Oh-31	2.4	1.4
Oh-32	87.7	0.3
Oh-33	10.5	0.2
Oh-34	2.8	0.4
Oh-35	3.8	0.3
Oh-36	21.4	0.3
Oh-37	13.8	0.5
Oh-38	5.1	0.3
Oh-39	3.5	0.4
Oh-40	2.2	0.3
Oh-41	2.8	nd
Oh-42	13.3	0.3
Prom.	21.2	1.1
Desv. est.	24.3	0.9

nd = No detectable

Anexo XII

Concentración total de metales pesados en sedimentos de la Bahía de Ohuira - Topolobampo, Sin.

Muestra	Al (%)	Cd (ug/g)	Co. (ug/g)	Cr (ug/g)	Cu (ug/g)	Fe (%)	Li (ug/g)	Mn (ug/g)	Ni (ug/g)	Pb (ug/g)	Zn (ug/g)
Oh-1	7.6	3.5	47.9	40.4	12.5	2.7	14.1	1071	35.0	47.8	89.7
Oh-2	5.6	3.3	41.7	40.9	14.5	2.7	16.4	1070	42.2	66.7	91.8
Oh-3	4.8	3.5	48.0	56.5	16.1	2.3	14.7	1190	53.8	43.4	90.3
Oh-4	5.2	3.2	34.1	29.6	13.2	2.4	12.2	917	41.1	41.3	80.0
Oh-5	5.2	2.6	41.9	42.1	15.7	2.9	12.5	1070	47.4	73.7	91.6
Oh-6	5.0	3.6	47.4	39.5	9.0	2.4	12.9	771	48.6	54.3	79.9
Oh-7	7.2	3.5	53.7	39.4	14.4	2.8	13.5	853	47.9	49.6	90.1
Oh-8	7.1	3.1	45.4	36.7	15.1	3.0	14.7	1050	54.7	55.1	102.5
Oh-9	5.7	2.8	41.8	31.0	10.4	2.6	9.3	584	40.0	57.1	65.7
Oh-10	5.0	2.7	37.9	35.9	13.5	2.3	11.0	684	43.9	62.0	78.0
Oh-11	5.0	3.1	41.0	49.3	8.1	2.4	11.3	564	43.7	61.7	63.9
Oh-12	4.0	2.1	30.3	14.7	6.2	0.8	4.8	284	26.5	52.0	31.6
Oh-13	4.5	3.1	36.5	23.1	6.2	2.2	9.2	384	41.4	54.9	66.1
Oh-14	1.9	3.5	23.1	14.7	8.9	0.9	5.1	398	33.1	67.0	46.0
Oh-15	6.6	2.6	42.8	41.3	11.5	2.3	11.7	515	40.7	56.2	73.3
Oh-16	2.1	3.1	17.6	13.5	8.0	0.9	4.2	476	25.4	58.3	31.2
Oh-17	6.2	2.6	39.8	29.2	7.1	2.2	9.2	464	33.6	38.6	59.1
Oh-18	8.1	2.6	44.7	23.2	6.2	2.0	9.6	441	29.5	40.2	58.4
Oh-19	6.0	1.4	44.7	28.2	5.4	1.7	9.0	399	36.2	45.2	60.9
Oh-20	6.5	2.1	41.4	35.5	8.9	1.8	9.6	427	37.9	45.2	64.3
Oh-21	3.9	3.6	28.7	18.4	7.1	1.0	5.5	287	31.9	69.8	40.0
Oh-22	5.5	2.2	48.8	33.2	5.4	1.9	8.7	402	34.5	35.8	59.3
Oh-23	7.8	2.2	46.6	18.6	5.4	1.4	8.4	378	29.7	48.3	55.3
Oh-24	6.4	2.9	53.7	30.8	15.3	2.3	14.5	407	44.2	46.8	83.1
Oh-25	3.2	3.6	37.9	24.8	11.8	1.5	8.5	316	36.6	70.7	52.6
Oh-26	1.2	4.3	16.9	8.7	7.2	0.7	3.3	274	26.8	59.4	23.6
Oh-27	5.4	2.2	46.3	27.6	7.3	1.8	7.9	326	34.4	53.1	53.2
Oh-28	1.1	4.4	18.6	10.0	3.7	0.6	2.1	483	26.9	72.3	18.8
Oh-29	4.4	2.2	47.5	28.5	8.1	1.6	9.1	400	34.1	52.6	67.3
Oh-30	5.0	1.5	50.7	34.7	6.4	1.7	9.1	382	35.3	44.4	61.8
Oh-31	5.3	1.4	51.9	40.4	12.5	2.0	11.5	416	42.2	54.8	91.6
Oh-32	1.2	3.6	15.9	6.2	4.5	0.1	1.6	199	24.1	78.0	17.4

Anexo XII (Continuación)

Concentración total de metales pesados en sedimentos de la Bahía de Ohuira - Topolobampo, Sin.

Muestra	Al (%)	Cd (ug/g)	Co. (ug/g)	Cr (ug/g)	Cu (ug/g)	Fe (%)	Li (ug/g)	Mn (ug/g)	Ni (ug/g)	Pb (ug/g)	Zn (ug/g)
Oh-33	5.8	2.1	49.2	28.0	7.1	1.4	7.3	286	28.8	55.9	57.0
Oh-34	5.1	2.1	50.1	15.9	4.5	0.8	5.7	201	27.7	47.8	39.3
Oh-35	4.3	2.4	34.6	20.1	4.4	1.5	6.9	218	25.3	53.1	43.9
Oh-36	3.5	3.2	35.9	21.8	6.7	2.0	5.9	352	30.6	53.7	49.8
Oh-37	3.9	3.2	40.1	40.1	7.1	2.4	7.9	329	32.7	58.4	60.1
Oh-38	3.8	3.7	41.8	39.2	5.4	3.0	7.4	462	33.9	44.3	61.4
Oh-39	7.4	3.9	42.1	26.4	4.2	2.2	8.7	504	30.7	22.0	68.6
Oh-40	4.3	1.5	32.5	53.2	3.6	1.9	7.1	329	25.6	47.0	47.9
Oh-41	4.4	1.4	38.7	41.1	5.2	2.5	7.1	378	29.5	46.2	56.4
Oh-42	4.4	2.5	36.5	24.2	3.6	2.0	6.5	304	26.6	44.6	64.6
Prom.	4.9	2.8	39.7	29.9	8.5	1.9	8.9	506	35.6	53.1	61.6
Desv. est.	1.7	0.8	10.0	11.9	3.8	0.7	3.5	267	8.0	11.2	20.8

Anexo XIII

Factor de enriquecimiento (Buat-Menard, 1979) en los sedimentos de la Bahía de Ohuira - Topolobampo
Usando Al como elemento conservativo

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Oh-1	37.5	0.4	0.3	0.6	1.1	0.5	1.2
Oh-2	48.1	0.6	0.4	0.8	1.6	0.8	1.7
Oh-3	60.0	1.0	0.5	0.8	2.0	1.2	1.9
Oh-4	50.3	0.5	0.4	0.8	1.4	0.9	1.6
Oh-5	39.9	0.7	0.5	1.0	1.7	1.0	1.8
Oh-6	57.2	0.6	0.3	0.8	1.2	1.0	1.6
Oh-7	40.0	0.4	0.3	0.7	1.0	0.7	1.3
Oh-8	35.0	0.4	0.3	0.7	1.2	0.8	1.5
Oh-9	39.3	0.4	0.3	0.8	0.8	0.8	1.2
Oh-10	42.9	0.6	0.4	0.8	1.1	0.9	1.6
Oh-11	50.1	0.8	0.3	0.8	0.9	0.9	1.3
Oh-12	42.8	0.3	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8
Oh-13	55.3	0.4	0.2	0.8	0.7	1.0	1.5
Oh-14	150.0	0.6	0.8	0.9	1.7	1.9	2.4
Oh-15	32.1	0.5	0.3	0.6	0.6	0.7	1.1
Oh-16	116.8	0.5	0.6	0.7	1.8	1.3	1.5
Oh-17	34.6	0.4	0.2	0.6	0.6	0.6	1.0
Oh-18	26.5	0.2	0.1	0.4	0.4	0.4	0.7
Oh-19	19.5	0.4	0.1	0.5	0.5	0.7	1.0
Oh-20	26.6	0.4	0.2	0.5	0.5	0.6	1.0
Oh-21	74.5	0.4	0.3	0.5	0.6	0.9	1.0
Oh-22	32.0	0.5	0.2	0.6	0.6	0.7	1.1
Oh-23	22.6	0.2	0.1	0.3	0.4	0.4	0.7
Oh-24	36.7	0.4	0.4	0.6	0.5	0.7	1.3
Oh-25	91.7	0.6	0.6	0.8	0.8	1.2	1.7
Oh-26	281.5	0.6	0.9	0.9	1.8	2.3	1.9
Oh-27	33.6	0.4	0.2	0.6	0.5	0.7	1.0
Oh-28	329.2	0.8	0.6	1.0	3.6	2.7	1.8
Oh-29	40.0	0.5	0.3	0.6	0.7	0.8	1.5
Oh-30	24.0	0.6	0.2	0.6	0.6	0.8	1.3
Oh-31	22.0	0.6	0.4	0.7	0.6	0.9	1.8
Oh-32	234.2	0.4	0.6	0.2	1.3	2.1	1.4

Anexo XIII (Continuación)

Factor de enriquecimiento (Buat-Menard, 1979) en los sedimentos de la Bahía de Ohuira - Topolobampo
Usando Al como elemento conservativo

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Oh-33	29.7	0.4	0.2	0.4	0.4	0.5	1.0
Oh-34	33.9	0.3	0.1	0.3	0.3	0.6	0.8
Oh-35	44.8	0.4	0.2	0.6	0.4	0.6	1.0
Oh-36	72.8	0.5	0.3	1.0	0.8	0.9	1.4
Oh-37	65.6	0.8	0.3	1.1	0.7	0.9	1.5
Oh-38	77.4	0.8	0.2	1.3	1.0	1.0	1.6
Oh-39	43.0	0.3	0.1	0.5	0.6	0.4	0.9
Oh-40	27.2	1.0	0.1	0.8	0.6	0.6	1.1
Oh-41	26.0	0.8	0.2	1.0	0.7	0.7	1.3
Oh-42	45.4	0.4	0.1	0.8	0.6	0.7	1.5
Promedio	64.1	0.5	0.3	0.7	0.9	0.9	1.3
Desv. est.	67.0	0.2	0.2	0.2	0.6	0.5	0.4

Anexo XIV

Factor de enriquecimiento (Buat-Menard, 1979) en los sedimentos de la Bahía de Ohuira - Topolobampo.
Usando Li como elemento conservativo

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Oh-1	75.3	0.9	0.5	1.2	2.3	1.0	2.4
Oh-2	60.2	0.7	0.5	1.0	2.0	1.0	2.1
Oh-3	72.0	1.1	0.7	1.0	2.4	1.5	2.3
Oh-4	78.9	0.7	0.6	1.2	2.2	1.3	2.5
Oh-5	61.3	1.0	0.8	1.5	2.6	1.5	2.7
Oh-6	82.5	0.9	0.4	1.2	1.8	1.5	2.3
Oh-7	78.8	0.9	0.6	1.4	1.9	1.4	2.5
Oh-8	63.1	0.8	0.6	1.3	2.2	1.5	2.6
Oh-9	89.3	1.0	0.7	1.8	1.9	1.7	2.7
Oh-10	72.7	1.0	0.7	1.4	1.9	1.6	2.7
Oh-11	82.6	1.3	0.4	1.4	1.5	1.5	2.1
Oh-12	133.4	0.9	0.8	1.1	1.8	2.2	2.5
Oh-13	100.3	0.8	0.4	1.5	1.3	1.8	2.7
Oh-14	207.3	0.9	1.0	1.2	2.3	2.6	3.4
Oh-15	67.4	1.1	0.6	1.3	1.3	1.4	2.3
Oh-16	222.6	1.0	1.2	1.3	3.4	2.4	2.8
Oh-17	86.0	1.0	0.5	1.6	1.5	1.5	2.4
Oh-18	83.0	0.7	0.4	1.3	1.4	1.2	2.3
Oh-19	48.1	0.9	0.4	1.2	1.3	1.6	2.5
Oh-20	66.9	1.1	0.6	1.2	1.3	1.6	2.5
Oh-21	195.8	1.0	0.8	1.2	1.6	2.3	2.8
Oh-22	74.5	1.1	0.4	1.4	1.4	1.6	2.6
Oh-23	77.5	0.7	0.4	1.1	1.3	1.4	2.5
Oh-24	59.7	0.6	0.6	1.0	0.8	1.2	2.1
Oh-25	128.4	0.9	0.8	1.1	1.1	1.7	2.3
Oh-26	394.4	0.8	1.3	1.3	2.5	3.3	2.7
Oh-27	84.4	1.0	0.6	1.5	1.2	1.7	2.5
Oh-28	638.5	1.5	1.1	1.9	7.1	5.2	3.4
Oh-29	72.2	0.9	0.5	1.1	1.3	1.5	2.8
Oh-30	48.6	1.1	0.4	1.2	1.3	1.5	2.5
Oh-31	37.3	1.1	0.7	1.1	1.1	1.5	3.0
Oh-32	654.1	1.1	1.6	0.5	3.7	5.9	4.0

Anexo XIV (Continuación)

Factor de enriquecimiento (Buat-Menard, 1979) en los sedimentos de la Bahía de Ohuira - Topolobampo.
Usando Li como elemento conservativo

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Oh-33	87.0	1.1	0.6	1.2	1.2	1.6	2.9
Oh-34	111.2	0.8	0.5	0.9	1.0	1.9	2.6
Oh-35	102.9	0.9	0.4	1.4	0.9	1.5	2.4
Oh-36	160.1	1.1	0.7	2.2	1.8	2.1	3.2
Oh-37	121.8	1.5	0.5	2.0	1.3	1.7	2.9
Oh-38	148.6	1.6	0.4	2.6	1.9	1.8	3.1
Oh-39	135.9	0.9	0.3	1.6	1.7	1.4	3.0
Oh-40	61.9	2.3	0.3	1.7	1.4	1.5	2.5
Oh-41	59.6	1.7	0.4	2.2	1.6	1.7	3.0
Oh-42	113.1	1.1	0.3	2.0	1.4	1.6	3.7
Promedio	128.6	1.0	0.6	1.4	1.8	1.8	2.7
Desv. est.	132.7	0.3	0.3	0.4	1.0	0.9	0.4

Anexo XV

Indice de geoacumulación (Muller, 1979), en los sedimentos de la Bahía de Ohuira - Topofobampo, Sin.

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Oh-1	4.6	-1.9	-2.6	-1.4	-0.5	-1.7	-0.4
Oh-2	4.5	-1.9	-2.4	-1.4	-0.5	-1.4	-0.4
Oh-3	4.6	-1.4	-2.2	-1.6	-0.3	-1.1	-0.4
Oh-4	4.4	-2.3	-2.5	-1.6	-0.7	-1.5	-0.6
Oh-5	4.1	-1.8	-2.3	-1.2	-0.5	-1.2	-0.4
Oh-6	4.6	-1.9	-3.1	-1.6	-1.0	-1.2	-0.6
Oh-7	4.6	-1.9	-2.4	-1.3	-0.8	-1.2	-0.4
Oh-8	4.4	-2.0	-2.3	-1.2	-0.5	-1.0	-0.2
Oh-9	4.2	-2.3	-2.8	-1.4	-1.4	-1.5	-0.9
Oh-10	4.2	-2.1	-2.5	-1.6	-1.1	-1.4	-0.6
Oh-11	4.4	-1.6	-3.2	-1.6	-1.4	-1.4	-0.9
Oh-12	3.8	-3.4	-3.6	-3.1	-2.4	-2.1	-1.9
Oh-13	4.4	-2.7	-3.6	-1.7	-2.0	-1.4	-0.9
Oh-14	4.6	-3.4	-3.1	-2.9	-1.9	-1.8	-1.4
Oh-15	4.1	-1.9	-2.7	-1.6	-1.5	-1.5	-0.7
Oh-16	4.4	-3.5	-3.2	-3.0	-1.7	-2.1	-1.9
Oh-17	4.1	-2.4	-3.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.0
Oh-18	4.1	-2.7	-3.6	-1.8	-1.8	-1.9	-1.0
Oh-19	3.3	-2.4	-3.8	-2.1	-1.9	-1.6	-1.0
Oh-20	3.8	-2.1	-3.1	-2.0	-1.8	-1.6	-0.9
Oh-21	4.6	-3.0	-3.4	-2.8	-2.4	-1.8	-1.6
Oh-22	3.8	-2.2	-3.8	-1.9	-1.9	-1.7	-1.0
Oh-23	3.9	-3.0	-3.8	-2.3	-2.0	-1.9	-1.1
Oh-24	4.3	-2.3	-2.3	-1.6	-1.9	-1.3	-0.5
Oh-25	4.6	-2.6	-2.7	-2.2	-2.2	-1.6	-1.2
Oh-26	4.9	-4.1	-3.4	-3.4	-2.5	-2.1	-2.3
Oh-27	3.9	-2.4	-3.4	-1.9	-2.2	-1.7	-1.2
Oh-28	4.9	-3.9	-4.4	-3.6	-1.6	-2.1	-2.7
Oh-29	3.9	-2.4	-3.2	-2.2	-1.9	-1.7	-0.8
Oh-30	3.3	-2.1	-3.6	-2.1	-2.0	-1.7	-1.0
Oh-31	3.3	-1.9	-2.6	-1.8	-1.9	-1.4	-0.4
Oh-32	4.6	-4.6	-4.1	-5.7	-2.9	-2.2	-2.8
Oh-33	3.8	-2.4	-3.4	-2.4	-2.4	-2.0	-1.1

Anexo XV (Continuación)

Indice de geoacumulación (Muller, 1979), en los sedimentos de la Bahía de Ohuira - Topolobampo, Sin.

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Oh-34	3.8	-3.2	-4.1	-3.2	-2.9	-2.0	-1.6
Oh-35	4.0	-2.9	-4.1	-2.2	-2.8	-2.2	-1.5
Oh-36	4.4	-2.8	-3.5	-1.8	-2.1	-1.9	-1.3
Oh-37	4.4	-1.9	-3.4	-1.5	-2.2	-1.8	-1.0
Oh-38	4.6	-1.9	-3.8	-1.2	-1.7	-1.7	-1.0
Oh-39	4.7	-2.5	-4.2	-1.7	-1.6	-1.9	-0.8
Oh-40	3.3	-1.5	-4.4	-1.9	-2.2	-2.1	-1.3
Oh-41	3.2	-1.9	-3.8	-1.5	-2.0	-1.9	-1.1
Oh-42	4.0	-2.6	-4.4	-1.8	-2.3	-2.1	-0.9
Promedio	3.2	-3.4	-4.3	-3.0	-2.7	-2.7	-2.0
Desv. est.	0.4	0.7	0.6	0.8	0.7	0.3	0.6

Anexo XVI

Porcentaje de biodisponibilidad potencial con respecto a la concentración total de metales pesados en la Bahía de Ohuira - Topolobampo, Sin.

Muestra	Cd	Cu	Fe	Pb	Zn
Oh1	23.9	41.4	4.0	60.4	31.0
Oh2	36.0	48.7	4.1	48.1	41.9
Oh3	34.0	47.3	4.9	89.3	43.0
Oh4	50.6	60.1	4.6	88.4	46.6
Oh5	45.5	43.0	3.8	40.6	19.9
Oh6	29.0	49.6	4.6	49.8	41.8
Oh7	30.1	36.7	3.9	59.1	45.6
Oh8	24.7	44.2	3.7	53.3	40.9
Oh9	42.2	29.8	4.2	55.3	41.2
Oh10	49.4	37.9	4.7	64.0	48.3
Oh11	53.0	37.8	4.7	59.2	46.9
Oh12	76.0	33.9	13.0	55.4	41.1
Oh13	42.2	32.6	5.1	56.7	41.1
Oh14	72.8	42.4	20.5	79.6	50.2
Oh15	43.1	27.9	4.9	53.8	42.4
Oh16	49.0	17.5	1.1	41.0	14.3
Oh17	44.4	37.2	5.0	73.7	57.2
Oh18	22.8	24.9	5.4	30.3	45.5
Oh19	73.7	31.6	6.6	48.9	54.2
Oh20	41.9	24.3	6.1	46.9	41.5
Oh21	72.1	51.7	19.8	57.1	28.1
Oh22	32.9	36.6	5.8	46.6	22.2
Oh23	27.7	37.4	7.3	20.6	18.6
Oh24	33.6	34.8	4.9	65.4	20.8
Oh25	57.5	41.5	13.9	50.9	26.9
Oh26	66.2	59.9	28.4	77.1	35.2
Oh27	35.6	17.3	6.0	28.1	18.9
Oh28	69.1	100.0	31.5	65.6	36.9
Oh29	56.8	34.1	6.8	46.0	17.6
Oh30	39.1	23.7	6.3	30.7	17.1
Oh31	42.7	27.9	5.3	38.5	16.8
Oh32	84.3	78.9	76.3	54.3	34.5
Oh33	36.7	16.6	8.0	26.7	23.0
Oh34	10.7	15.9	12.8	9.2	19.6
Oh35	15.2	18.2	7.1	7.5	16.7
Oh36	34.1	21.1	5.1	27.8	13.6
Oh37	26.8	26.7	4.4	24.1	18.0
Oh38	7.5	20.2	3.5	24.9	12.6
Oh39	6.4	23.7	5.0	32.1	15.7
Oh40	14.7	18.4	5.6	7.5	17.3
Oh41	15.0	14.4	4.3	17.1	15.6
Oh42	32.4	28.4	5.4	30.5	12.5
Prom.	40.5	35.6	9.2	46.2	30.8
Desv. est.	19.6	17.1	12.4	20.7	13.6

Anexo XVII

Concentración de carbonatos, C orgánico y metales pesados en el Núcleo Oh5, Ohuira -Topolobampo, Sin.

Prof. (cm)	arbonat (%)	C-org (%)	Al (%)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Li (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu/Zn
0.5	9.6	1.97	4.8	2.4	43.0	34.1	17.0	3.1	13.1	1010	49.6	65.6	94.2	0.18
1.5	9.2	1.97	4.5	2.9	40.9	49.0	15.1	2.9	13.3	1122	46.3	82.6	89.7	0.17
2.5	10.9	2.12	5.1	2.9	42.2	48.5	20.0	3.2	11.1	1136	50.3	77.2	90.9	0.22
3.5	10.3	1.78	4.3	2.4	41.2	38.7	12.3	2.7	11.9	1108	45.9	68.8	83.3	0.15
4.5	9.6	1.91	7.3	2.2	42.1	40.2	13.9	2.8	13.1	975	44.9	74.6	100.0	0.14
5.5	9.6	1.86	7.0	2.1	40.1	37.5	14.7	2.7	11.1	959	46.9	71.6	95.1	0.15
6.5	9.8	1.79	6.5	1.2	39.2	36.0	13.7	2.7	11.3	878	46.6	50.0	93.5	0.15
7.5	9.4	1.94	8.0	3.6	37.2	49.9	15.6	2.6	9.5	1269	41.4	45.3	88.4	0.18
8.5	9.2	1.94	6.8	1.7	40.0	37.4	12.1	2.6	12.7	1164	51.2	62.1	97.3	0.12
9.5	9.0	1.87	6.5	1.3	36.6	37.7	13.9	2.6	11.5	1131	45.7	61.3	91.6	0.15
10.5	8.3	1.77	6.0	0.4	38.8	37.5	12.1	2.6	10.4	1093	43.9	63.6	95.6	0.13
11.5	8.4	1.73	7.6	0.4	36.5	37.6	11.3	2.5	9.6	1114	41.1	51.8	94.3	0.12
12.5	8.0	1.75	7.6	2.5	39.5	32.5	11.2	2.3	10.5	1124	44.0	59.7	94.1	0.12
13.5	9.4	1.84	8.3	3.4	41.4	41.3	11.2	2.7	10.8	1114	42.5	58.4	100.7	0.11
14.5	9.0	1.83	7.5	2.9	40.4	27.3	15.4	2.7	11.6	1055	41.3	50.0	97.3	0.16
17.5	11.2	1.74	8.4	3.0	39.3	33.0	14.5	2.7	12.0	679	43.5	46.4	92.6	0.16
22.5	10.8	1.63	6.2	2.8	37.7	27.5	14.4	2.1	10.7	1037	36.5	39.0	85.7	0.17
27.5	9.6	1.59	5.9	2.2	16.6	33.6	12.7	2.4	9.5	1246	26.0	37.4	93.0	0.14
32.5	10.5	1.64	5.9	3.1	35.8	31.3	12.8	2.2	10.5	1140	38.1	30.3	83.1	0.15
37.5	15.5	1.69	5.6	3.9	37.9	27.4	12.7	2.1	10.4	1335	38.5	40.9	85.9	0.15
42.0	12.2	1.70	5.5	3.5	32.1	27.5	14.5	2.2	10.8	1317	34.4	40.1	86.8	0.17
Prom.	10.0	1.8	6.4	2.4	38.0	36.4	13.9	2.6	11.2	1096	42.8	56.0	92.0	0.2
esv. est	1.6	0.1	1.2	1.0	5.5	6.8	2.1	0.3	1.2	148	5.9	14.5	5.1	0.0

Anexo XVIII

Análisis de componentes principales (cargas por muestra).

Estación	Componente 1	Componente 2	Componente 3
OH1	-1.43	0.44	0.29
OH2	-1.42	1.39	-0.59
OH3	-1.80	1.21	-0.56
OH4	-0.80	0.65	-0.04
OH6	-1.04	0.72	-0.09
OH7	-1.59	0.65	0.29
OH8	-1.84	1.03	-0.13
OH9	-0.56	0.53	-0.04
OH10	-0.72	0.89	-0.49
OH11	-0.53	0.52	-0.52
OH12	1.19	-0.39	0.37
OH13	0.11	0.13	0.12
OH14	1.18	1.52	-0.32
OH15	-0.79	0.21	0.00
OH16	1.28	0.71	-0.26
OH17	-0.19	-0.61	0.55
OH18	0.16	-0.33	1.24
OH19	-0.01	-1.15	0.51
OH20	-0.28	-0.62	0.39
OH21	1.06	0.98	0.02
OH22	-0.07	-1.34	0.60
OH23	0.12	-1.13	1.07
OH24	-1.21	0.19	0.57
OH25	0.36	1.32	-0.23
OH26	1.79	1.54	-0.05
OH27	0.19	-0.76	0.35
OH28	2.05	1.63	-0.35
OH29	0.01	-0.40	0.25
OH30	-0.13	-1.24	0.33
OH31	-0.91	-0.40	-0.09
OH32	2.33	1.42	-0.29
OH33	0.35	-0.99	0.54
OH34	0.76	-1.23	1.00
OH35	0.83	-0.83	0.30
OH36	0.64	-0.12	0.05
OH37	0.07	-0.05	-0.35
OH38	-0.03	-0.47	-0.14
OH39	-0.14	-1.15	1.37
OH40	0.36	-1.41	-0.54
OH41	0.12	-2.11	-5.47
OH42	0.52	-0.97	0.32

Anexo XIX

Granulometría y mineralogía de los sedimentos de la Bahía de Guaymas, Son.

Muestra	% Arena	% Limo	% Arcilla	Nomenclatura	%(L + arc)
Gy1	31.9	60.8	7.3	Limo arenoso	68.1
Gy2	6.3	81.7	12.0	Limo	93.7
Gy3	3.9	86.2	9.9	Limo	96.1
Gy4	3.5	82.1	14.4	Limo	96.5
Gy5	28.6	61.5	9.9	Limo arenoso	71.4
Gy6	5.7	88.9	5.5	Limo	94.3
Gy7	2.2	85.2	12.6	Limo	97.8
Gy8	0.0	81.9	18.1	Limo	100.0
Gy9	2.1	86.2	11.7	Limo	97.9
Gy10	1.7	85.9	12.4	Limo	98.3
Gy11	1.1	85.5	13.5	Limo	98.9
Gy12	82.7	12.8	4.5	Arena	17.3
Gy13	0.0	95.6	4.4	Limo	100.0
Gy14	36.3	58.7	5.0	Limo arenoso	63.7
Gy15	7.4	84.0	8.6	Limo	92.6
Gy16	0.0	88.4	11.6	Limo	100.0
Gy17	1.3	86.4	12.3	Limo	98.7
Gy18	24.3	72.1	3.6	Limo arenoso	75.7
Gy19	38.9	56.3	4.8	Limo arenoso	61.1
Gy20	0.0	89.8	10.2	Limo	100.0
Gy21	4.5	88.8	6.7	Limo	95.5
Gy22	35.1	63.9	1.0	Limo arenoso	64.9
Gy23	2.7	91.2	6.1	Limo	97.3
Gy24	2.1	91.2	6.7	Limo	97.9
Gy25	2.8	91.3	5.8	Limo	97.2
Gy26	5.7	88.5	5.9	Limo	94.3
Gy27	17.3	78.9	3.8	Limo arenoso	82.7
Gy28	89.4	8.4	2.2	Arena	10.6
Gy29	77.9	18.1	4.0	Arena limosa	22.1
Gy30	9.7	85.1	5.2	Limo	90.3
Gy31	3.9	90.7	5.4	Limo	96.1
Gy32	20.2	78.5	1.3	Limo arenoso	79.8
Gy33	1.0	91.7	7.3	Limo	99.0

Mont. (%)	Illita (%)	Caolinita (%)	I/C
7.8	77.8	14.4	1.6
4.9	56.4	38.7	1.5
5.2	50.9	43.9	1.2
11.0	31.9	57.2	0.6
0.5	36.9	62.6	0.6
8.7	61.4	29.9	2.1
2.8	35.8	61.4	0.6
1.3	41.4	57.4	0.7
12.7	39.5	47.7	0.8
5.5	45.8	48.7	0.9
18.9	46.8	34.3	1.4

Anexo XIX (Continuación)

Granulometría y mineralogía de los sedimentos de la Bahía de Guaymas, Son.

Muestra	% Arena	% Limo	% Arcilla	Nomenclatura	% (L + arc)
Gy34	59.0	36.0	5.0	Arena limosa	41.0
Gy35	4.5	84.9	10.5	Limo	95.5
Gy36	3.2	89.3	7.5	Limo	96.8
Gy37	4.2	88.8	7.1	Limo	95.8
Gy38	7.5	80.4	12.1	Limo	92.5
Gy39	44.0	52.6	3.4	Limo arenoso	56.0
Gy40	94.7	4.1	1.2	Arena	5.3
Gy41	86.0	10.5	3.4	Arena	14.0
Gy42	84.8	11.1	4.1	Arena	15.2
Gy43	83.5	13.3	3.2	Arena	16.5
Gy44	77.0	18.5	4.5	Arena limosa	23.0
Gy45	84.0	14.3	1.6	Arena	16.0
Gy46	79.9	16.5	3.6	Arena limosa	20.1
Gy47	81.0	15.8	3.2	Arena	19.0
Gy48	74.7	19.7	5.7	Arena limosa	25.3
Gy49	76.7	18.2	5.0	Arena limosa	23.3
Gy50	72.9	21.4	5.7	Arena limosa	27.1
Gy51	78.5	20.8	0.7	Arena limosa	21.5
Promedio	32.3	61.0	6.7		67.72
Desv. est.	34.7	32.3	4.0		34.7

Mont. (%)	Illita (%)	Caolinita (%)	I/C
3.6	28.8	67.5	0.4
8.6	49.6	41.8	1.2
6.2	46.3	47.5	1.0
20.6	37.4	42.0	0.9
8.2	38.1	53.7	0.7
12.6	46.1	41.3	1.1
8.19	45.34	46.47	1.01
5.6	11.9	13.3	0.4

Anexo XX

Porcentaje de carbonatos y C orgánico en los sedimentos de la Bahía de Guaymas, Son.

Muestra	Carbonatos	C-org
Gy-1	4.1	6.9
Gy-2	4.3	6.9
Gy-3	8.8	5.1
Gy-4	2.4	5.5
Gy-5	0.8	3.9
Gy-6	1.6	5.3
Gy-7	1.7	5.4
Gy-8	1.8	6.2
Gy-9	3.1	5.7
Gy-10	3.3	5.5
Gy-11	15.0	4.9
Gy-12	66.1	1.6
Gy-13	7.7	3.8
Gy-14	36.0	3.1
Gy-15	7.5	4.2
Gy-16	3.2	4.1
Gy-17	5.8	5.4
Gy-18	15.5	5.3
Gy-19	40.7	1.1
Gy-20	13.2	3.2
Gy-21	7.5	2.9
Gy-22	13.0	1.6
Gy-23	4.4	2.4
Gy-24	6.1	2.4
Gy-25	6.6	2.6
Gy-26	13.6	1.3

Muestra	Carbonatos	C-org
Gy-27	8.6	2.0
Gy-28	4.3	2.2
Gy-29	7.4	0.6
Gy-30	6.1	1.9
Gy-31	5.9	2.9
Gy-32	7.5	1.9
Gy-33	6.7	3.1
Gy-34	8.4	0.9
Gy-35	7.5	4.0
Gy-36	13.0	3.5
Gy-37	11.6	2.8
Gy-38	12.5	3.5
Gy-39	16.6	1.4
Gy-40	8.8	0.4
Gy-41	12.1	1.2
Gy-42	11.8	1.4
Gy-43	10.7	2.1
Gy-44	11.5	1.2
Gy-45	10.8	1.0
Gy-46	9.7	0.6
Gy-47	8.4	0.5
Gy-48	9.1	0.8
Gy-49	10.5	0.8
Gy-50	10.8	0.9
Gy-51	9.0	0.8
Prom.	10.5	2.9
Desv. est.	10.7	1.9

Anexo XXI

Concentración total de metales pesados en sedimentos de la Bahía de Guaymas, Son.

Muestra	Al (%)	Cd (ug/g)	Co. (ug/g)	Cr (ug/g)	Cu (ug/g)	Fe (%)	Li (ug/g)	Mn (ug/g)	Ni (ug/g)	Pb (ug/g)	Zn (ug/g)
Gy-1	7.4	2.3	43.8	38.8	23.2	3.4	5.1	332	43.3	55.8	125.4
Gy-2	6.7	4.1	42.6	42.6	55.3	3.2	7.7	345	44.9	77.7	272.4
Gy-3	8.4	4.1	44.3	45.0	74.1	3.2	10.5	337	48.4	84.7	347.6
Gy-4	8.2	3.7	45.1	46.4	149.1	3.4	10.3	290	48.7	119.3	443.2
Gy-5	4.0	4.1	29.8	27.7	51.2	1.9	6.5	205	38.4	89.2	201.6
Gy-6	8.9	5.1	44.4	38.0	100.7	3.4	12.7	268	50.7	124.2	418.7
Gy-7	7.9	4.7	45.3	35.7	71.3	3.1	9.9	245	46.6	164.9	407.7
Gy-8	8.0	5.3	55.6	33.4	74.1	3.5	10.5	294	55.8	194.3	583.8
Gy-9	7.8	5.4	45.4	38.6	97.1	3.4	12.3	279	46.8	125.4	412.7
Gy-10	7.3	5.0	49.0	36.1	68.7	3.6	13.0	284	45.2	101.3	308.9
Gy-11	8.4	4.5	39.7	42.2	67.9	3.0	8.5	294	48.3	54.6	242.6
Gy-12	3.3	4.6	23.7	35.4	14.0	0.8	1.3	90	34.7	94.1	64.0
Gy-13	11.0	5.0	44.6	55.9	61.9	3.6	9.4	346	51.4	70.8	214.5
Gy-14	6.6	4.6	35.5	26.5	55.0	1.7	5.2	321	39.4	81.8	143.0
Gy-15	9.8	5.0	42.2	55.2	115.4	3.2	8.9	351	49.4	70.4	194.0
Gy-16	9.0	4.6	37.0	39.2	104.1	3.4	9.4	386	47.4	82.0	255.0
Gy-17	8.5	6.4	41.0	59.3	138.7	2.9	9.0	308	50.3	113.4	500.2
Gy-18	7.2	4.6	37.1	35.5	205.2	1.6	4.6	300	37.2	63.6	135.8
Gy-19	5.2	4.6	28.3	33.8	53.7	1.7	4.5	383	38.5	61.7	94.1
Gy-20	8.7	4.1	40.0	47.5	54.5	2.8	10.2	326	43.3	71.3	168.0
Gy-21	7.8	4.1	39.5	47.8	72.2	2.6	9.0	351	41.1	56.5	151.0
Gy-22	8.4	3.6	37.8	29.9	97.4	2.1	5.7	275	35.3	82.8	98.4
Gy-23	8.9	3.6	39.9	43.6	66.4	2.8	9.5	366	43.7	49.4	124.8
Gy-24	7.6	3.3	38.4	43.9	172.3	3.3	9.7	370	46.6	57.1	131.0
Gy-25	8.7	4.1	38.1	42.7	158.1	3.5	9.9	355	48.9	73.8	137.5
Gy-26	7.5	4.5	38.3	42.1	44.6	3.1	8.4	308	64.9	72.7	125.0
Gy-27	7.1	5.5	36.6	44.2	41.2	2.6	14.5	298	51.8	49.3	102.6
Gy-28	6.4	4.2	29.5	20.1	8.7	0.9	4.8	138	27.1	31.5	35.8
Gy-29	6.3	4.2	29.6	19.1	7.8	1.2	6.5	165	32.7	33.8	41.4
Gy-30	6.8	4.2	38.2	34.7	43.4	2.8	13.2	365	48.4	32.7	101.8
Gy-31	6.8	4.2	35.7	36.9	39.8	3.1	15.1	290	50.6	45.6	118.7
Gy-32	6.8	3.7	36.0	25.5	18.0	2.1	9.5	240	38.2	47.3	78.9

Anexo XXI (Continuación)
 Concentración total de metales pesados en sedimentos de la Bahía de Guaymas, Son.

Muestra	Al (%)	Cd (ug/g)	Co. (ug/g)	Cr (ug/g)	Cu (ug/g)	Fe (%)	Li (ug/g)	Mn (ug/g)	Ni (ug/g)	Pb (ug/g)	Zn (ug/g)
Gy-33	5.7	4.5	35.9	33.1	27.4	3.0	12.6	303	50.0	41.7	127.8
Gy-34	6.1	3.3	31.3	22.3	7.8	1.4	7.0	181	31.8	28.1	52.2
Gy-35	7.0	5.5	39.8	29.4	26.2	2.8	15.0	204	49.4	47.4	176.6
Gy-36	7.4	4.9	47.3	31.9	25.6	3.1	16.6	265	45.6	56.5	168.1
Gy-37	6.4	4.2	43.3	24.7	25.2	2.9	15.5	266	44.3	39.4	140.3
Gy-38	6.4	6.1	44.1	26.5	23.8	2.6	12.5	190	45.1	69.2	285.4
Gy-39	6.2	3.3	40.5	13.4	11.2	1.8	8.3	186	33.6	40.0	67.0
Gy-40	5.1	2.9	34.3	10.0	ND	0.8	5.1	93	23.4	30.3	30.3
Gy-41	5.8	2.5	32.6	12.3	3.4	0.9	5.2	132	28.9	36.9	33.7
Gy-42	5.6	2.5	35.5	12.2	4.3	1.2	5.4	111	28.2	39.9	35.9
Gy-43	5.6	2.5	35.4	15.5	1.7	1.3	5.4	163	32.3	41.9	39.8
Gy-44	6.4	3.2	42.9	23.3	2.4	1.3	4.1	160	32.3	49.2	51.0
Gy-45	6.4	3.6	40.7	27.8	3.3	1.5	4.1	181	29.3	51.9	48.6
Gy-46	6.6	4.0	41.2	22.1	2.4	1.4	5.6	285	30.3	54.3	45.6
Gy-47	6.7	3.2	36.9	21.1	2.4	1.2	5.0	190	25.7	55.9	44.2
Gy-48	6.2	2.8	37.1	17.8	4.2	1.2	6.0	142	27.0	45.3	45.3
Gy-49	6.1	3.1	36.9	18.8	4.2	1.1	5.7	153	29.8	43.6	48.2
Gy-50	6.1	2.5	41.4	18.9	3.3	1.2	5.7	207	28.7	36.9	41.1
Gy-51	6.1	3.7	36.2	25.5	ND	1.3	4.7	208	25.1	34.1	43.0
Prom.	7.0	4.1	38.9	32.3	52.7	2.3	8.5	257	40.8	66.2	162.8
Desv. est.	1.4	0.9	5.7	12.0	50.1	0.9	3.6	83	9.5	34.1	136.5

Anexo XXII

Factor de enriquecimiento (Buat-Menard, 1979) en los sedimentos de la Bahía de Guaymas.
Usando Al como elemento conservativo

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Gy-1	25.0	0.4	0.5	0.8	0.4	0.6	1.7
Gy-2	49.3	0.5	1.3	0.8	0.4	0.7	4.1
Gy-3	39.4	0.4	1.4	0.7	0.3	0.6	4.2
Gy-4	36.0	0.5	2.9	0.7	0.3	0.6	5.5
Gy-5	83.2	0.6	2.1	0.8	0.4	1.0	5.1
Gy-6	46.0	0.3	1.8	0.7	0.2	0.6	4.7
Gy-7	47.6	0.4	1.5	0.7	0.3	0.6	5.2
Gy-8	53.7	0.3	1.5	0.8	0.3	0.8	7.4
Gy-9	56.7	0.4	2.0	0.8	0.3	0.7	5.4
Gy-10	55.0	0.4	1.5	0.8	0.3	0.7	4.3
Gy-11	43.4	0.4	1.3	0.6	0.3	0.6	2.9
Gy-12	113.8	0.9	0.7	0.4	0.2	1.1	2.0
Gy-13	36.6	0.4	0.9	0.6	0.3	0.5	2.0
Gy-14	56.7	0.3	1.4	0.5	0.4	0.6	2.2
Gy-15	41.5	0.5	1.9	0.6	0.3	0.5	2.0
Gy-16	41.5	0.4	1.9	0.7	0.3	0.6	2.9
Gy-17	61.1	0.6	2.6	0.6	0.3	0.6	5.9
Gy-18	51.7	0.4	4.6	0.4	0.3	0.6	1.9
Gy-19	70.8	0.5	1.7	0.6	0.6	0.8	1.8
Gy-20	38.2	0.4	1.0	0.6	0.3	0.5	2.0
Gy-21	42.5	0.5	1.5	0.6	0.4	0.6	2.0
Gy-22	34.7	0.3	1.9	0.4	0.3	0.5	1.2
Gy-23	33.0	0.4	1.2	0.5	0.3	0.5	1.4
Gy-24	35.5	0.5	3.7	0.7	0.4	0.7	1.8
Gy-25	38.2	0.4	2.9	0.7	0.3	0.6	1.6
Gy-26	48.3	0.5	1.0	0.7	0.3	0.9	1.7
Gy-27	62.3	0.5	0.9	0.6	0.3	0.8	1.5
Gy-28	52.5	0.3	0.2	0.3	0.2	0.5	0.6
Gy-29	53.7	0.2	0.2	0.3	0.2	0.6	0.7
Gy-30	49.9	0.4	1.0	0.7	0.4	0.8	1.5
Gy-31	49.4	0.4	0.9	0.8	0.3	0.8	1.8
Gy-32	44.5	0.3	0.4	0.5	0.3	0.6	1.2

Anexo XXII (Continuación)

Factor de enriquecimiento (Buat-Menard, 1979) en los sedimentos de la Bahía de Guaymas.
Usando Al como elemento conservativo

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Gy-33	64.3	0.5	0.8	0.9	0.4	0.9	2.3
Gy-34	44.6	0.3	0.2	0.4	0.2	0.6	0.9
Gy-35	63.6	0.3	0.6	0.7	0.2	0.8	2.6
Gy-36	54.4	0.4	0.6	0.7	0.3	0.7	2.3
Gy-37	53.2	0.3	0.6	0.8	0.3	0.7	2.2
Gy-38	76.8	0.3	0.6	0.7	0.2	0.8	4.5
Gy-39	43.6	0.2	0.3	0.5	0.2	0.6	1.1
Gy-40	46.5	0.2	----	0.3	0.1	0.5	0.6
Gy-41	35.0	0.2	0.1	0.3	0.2	0.5	0.6
Gy-42	36.3	0.2	0.1	0.4	0.2	0.5	0.7
Gy-43	35.9	0.2	0.0	0.4	0.2	0.6	0.7
Gy-44	40.1	0.3	0.1	0.4	0.2	0.5	0.8
Gy-45	46.0	0.4	0.1	0.4	0.2	0.5	0.8
Gy-46	49.4	0.3	0.1	0.4	0.4	0.5	0.7
Gy-47	38.6	0.3	0.1	0.3	0.2	0.4	0.7
Gy-48	36.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.5	0.7
Gy-49	41.3	0.3	0.1	0.3	0.2	0.5	0.8
Gy-50	33.0	0.3	0.1	0.3	0.3	0.5	0.7
Gy-51	49.5	0.3	----	0.4	0.3	0.4	0.7
Promedio	48.6	0.4	1.1	0.6	0.3	0.6	2.2
Desv. est.	14.8	0.1	1.0	0.2	0.1	0.1	1.7

Anexo XXIII

Factor de enriquecimiento (Buat-Menard, 1979) en los sedimentos de la Bahía de Guaymas.
Usando Li como elemento conservativo

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Gy-1	133.9	2.3	2.7	4.3	2.0	3.4	9.2
Gy-2	160.5	1.7	4.3	2.7	1.3	2.3	13.3
Gy-3	116.9	1.3	4.2	2.0	1.0	1.8	12.4
Gy-4	106.9	1.4	8.7	2.2	0.8	1.9	16.2
Gy-5	191.9	1.3	4.8	1.9	1.0	2.4	11.7
Gy-6	120.5	0.9	4.8	1.8	0.6	1.6	12.4
Gy-7	141.5	1.1	4.3	2.0	0.7	1.9	15.5
Gy-8	151.4	1.0	4.2	2.2	0.8	2.1	20.9
Gy-9	132.0	0.9	4.7	1.8	0.7	1.5	12.6
Gy-10	115.1	0.8	3.2	1.8	0.7	1.4	8.9
Gy-11	159.4	1.5	4.8	2.3	1.0	2.3	10.7
Gy-12	1049.0	8.1	6.4	3.7	2.1	10.5	18.2
Gy-13	157.6	1.8	3.9	2.5	1.1	2.2	8.5
Gy-14	267.1	1.5	6.4	2.2	1.9	3.1	10.4
Gy-15	168.6	1.9	7.8	2.3	1.2	2.2	8.2
Gy-16	147.5	1.3	6.7	2.3	1.2	2.0	10.2
Gy-17	214.1	2.0	9.3	2.1	1.0	2.2	20.9
Gy-18	302.9	2.3	26.9	2.3	2.0	3.3	11.1
Gy-19	306.4	2.3	7.2	2.5	2.6	3.5	7.9
Gy-20	120.7	1.4	3.2	1.8	1.0	1.7	6.2
Gy-21	137.7	1.6	4.8	1.9	1.2	1.8	6.3
Gy-22	191.9	1.6	10.3	2.4	1.5	2.5	6.5
Gy-23	114.7	1.4	4.2	1.9	1.2	1.8	4.9
Gy-24	102.5	1.4	10.7	2.2	1.1	1.9	5.1
Gy-25	124.4	1.3	9.6	2.2	1.1	2.0	5.2
Gy-26	159.9	1.5	3.2	2.4	1.1	3.1	5.6
Gy-27	113.3	0.9	1.7	1.2	0.6	1.4	2.7
Gy-28	258.5	1.2	1.1	1.3	0.9	2.2	2.8
Gy-29	193.5	0.9	0.7	1.1	0.8	2.0	2.4
Gy-30	95.2	0.8	2.0	1.4	0.8	1.5	2.9
Gy-31	83.2	0.7	1.6	1.3	0.6	1.3	3.0
Gy-32	117.8	0.8	1.1	1.5	0.8	1.6	3.1

Anexo XXIII (Continuación)

Factor de enriquecimiento (Buat-Menard, 1979) en los sedimentos de la Bahía de Guaymas.
Usando Li como elemento conservativo

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Gy-33	108.3	0.8	1.3	1.5	0.7	1.6	3.8
Gy-34	142.2	0.9	0.7	1.3	0.8	1.8	2.8
Gy-35	109.9	0.6	1.1	1.2	0.4	1.3	4.4
Gy-36	89.2	0.6	0.9	1.2	0.5	1.1	3.8
Gy-37	81.2	0.5	1.0	1.2	0.5	1.1	3.4
Gy-38	145.5	0.6	1.1	1.3	0.5	1.4	8.5
Gy-39	120.3	0.5	0.8	1.4	0.7	1.6	3.0
Gy-40	170.7	0.6	---	1.0	0.5	1.8	2.2
Gy-41	145.8	0.7	0.4	1.2	0.8	2.2	2.5
Gy-42	137.9	0.7	0.5	1.4	0.6	2.1	2.5
Gy-43	138.0	0.9	0.2	1.6	0.9	2.4	2.8
Gy-44	234.6	1.7	0.4	2.1	1.2	3.2	4.7
Gy-45	265.7	2.0	0.5	2.4	1.3	2.9	4.5
Gy-46	214.3	1.2	0.3	1.6	1.5	2.2	3.0
Gy-47	190.3	1.3	0.3	1.5	1.1	2.0	3.3
Gy-48	137.9	0.9	0.4	1.3	0.7	1.8	2.8
Gy-49	164.8	1.0	0.4	1.3	0.8	2.1	3.2
Gy-50	131.4	1.0	0.3	1.3	1.1	2.0	2.7
Gy-51	237.6	1.6	---	1.8	1.3	2.1	3.4
Promedio	174.9	1.3	3.9	1.9	1.0	2.2	7.1
Desv. est.	136.3	1.1	4.5	0.6	0.5	1.3	5.0

Anexo XXIV

Índice de geoacumulación (Muller, 1979), en los sedimentos de la Bahía de Guaymas, Son.

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Gy-1	3.9	-2.0	-1.7	-1.0	-2.2	-1.4	0.06
Gy-2	4.8	-1.8	-0.4	-1.1	-2.1	-1.3	1.18
Gy-3	4.8	-1.7	0.0	-1.1	-2.2	-1.2	1.53
Gy-4	4.6	-1.7	1.0	-1.0	-2.4	-1.2	1.88
Gy-5	4.8	-2.4	-0.6	-1.9	-2.9	-1.6	0.75
Gy-6	5.1	-2.0	0.4	-1.0	-2.5	-1.1	1.80
Gy-7	5.0	-2.1	-0.1	-1.2	-2.6	-1.3	1.76
Gy-8	5.1	-2.2	0.0	-1.0	-2.4	-1.0	2.28
Gy-9	5.2	-2.0	0.4	-1.0	-2.4	-1.3	1.78
Gy-10	5.1	-2.1	-0.1	-1.0	-2.4	-1.3	1.36
Gy-11	4.9	-1.8	-0.1	-1.2	-2.4	-1.2	1.02
Gy-12	4.9	-2.1	-2.4	-3.2	-4.1	-1.7	-0.91
Gy-13	5.0	-1.4	-0.3	-0.9	-2.1	-1.1	0.84
Gy-14	4.9	-2.5	-0.4	-2.0	-2.2	-1.5	0.25
Gy-15	5.1	-1.4	0.6	-1.1	-2.1	-1.2	0.69
Gy-16	4.9	-1.9	0.5	-1.0	-2.0	-1.2	1.09
Gy-17	5.4	-1.3	0.9	-1.3	-2.3	-1.2	2.06
Gy-18	4.9	-2.1	1.5	-2.1	-2.3	-1.6	0.18
Gy-19	4.9	-2.1	-0.5	-2.0	-2.0	-1.5	-0.35
Gy-20	4.8	-1.7	-0.5	-1.3	-2.2	-1.4	0.49
Gy-21	4.8	-1.7	-0.1	-1.4	-2.1	-1.5	0.33
Gy-22	4.6	-2.3	0.4	-1.7	-2.4	-1.7	-0.29
Gy-23	4.6	-1.8	-0.2	-1.3	-2.0	-1.4	0.06
Gy-24	4.5	-1.8	1.2	-1.1	-2.0	-1.3	0.13
Gy-25	4.8	-1.8	1.1	-1.0	-2.1	-1.2	0.20
Gy-26	4.9	-1.8	-0.7	-1.2	-2.3	-0.8	0.06
Gy-27	5.2	-1.8	-0.9	-1.4	-2.3	-1.1	-0.23
Gy-28	4.8	-2.9	-3.1	-2.9	-3.4	-2.1	-1.74
Gy-29	4.8	-3.0	-3.3	-2.6	-3.2	-1.8	-1.54
Gy-30	4.8	-2.1	-0.8	-1.3	-2.0	-1.2	-0.24
Gy-31	4.8	-2.0	-0.9	-1.2	-2.4	-1.2	-0.02
Gy-32	4.6	-2.6	-2.1	-1.7	-2.6	-1.6	-0.61
Gy-33	4.9	-2.2	-1.5	-1.2	-2.3	-1.2	0.09

Anexo XXIV (Continuación)

Índice de geoacumulación (Muller, 1979), en los sedimentos de la Bahía de Guaymas, Son.

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
Gy-34	4.5	-2.8	-3.3	-2.3	-3.0	-1.8	-1.20
Gy-35	5.2	-2.4	-1.5	-1.3	-2.9	-1.2	0.56
Gy-36	5.0	-2.2	-1.6	-1.2	-2.5	-1.3	0.49
Gy-37	4.8	-2.6	-1.6	-1.3	-2.5	-1.3	0.23
Gy-38	5.3	-2.5	-1.7	-1.4	-3.0	-1.3	1.25
Gy-39	4.5	-3.5	-2.7	-2.0	-3.0	-1.7	-0.84
Gy-40	4.3	-3.9	----	-3.1	-4.0	-2.3	-1.99
Gy-41	4.1	-3.6	-4.4	-2.9	-3.5	-2.0	-1.83
Gy-42	4.1	-3.6	-4.1	-2.6	-3.8	-2.0	-1.74
Gy-43	4.1	-3.3	-5.5	-2.4	-3.2	-1.8	-1.59
Gy-44	4.4	-2.7	-4.9	-2.4	-3.2	-1.8	-1.23
Gy-45	4.6	-2.4	-4.5	-2.2	-3.0	-1.9	-1.30
Gy-46	4.7	-2.8	-4.9	-2.3	-2.4	-1.9	-1.40
Gy-47	4.4	-2.8	-4.9	-2.6	-3.0	-2.1	-1.44
Gy-48	4.2	-3.1	-4.2	-2.6	-3.4	-2.1	-1.41
Gy-49	4.4	-3.0	-4.2	-2.6	-3.3	-1.9	-1.32
Gy-50	4.1	-3.0	-4.5	-2.6	-2.9	-2.0	-1.55
Gy-51	4.6	-2.6	----	-2.4	-2.9	-2.2	-1.48
Promedio	4.7	-2.3	-1.5	-1.7	-2.6	-1.5	-0.04
Desv. est.	0.4	0.6	2.0	0.7	0.5	0.4	1.20

Anexo XXV

Porcentaje de biodisponibilidad potencial con respecto a la concentración total de metales pesados en la Bahía de Guaymas, Son.

Muestra	Cd	Cu	Fe	Pb	Zn
Gy1	31.7	47.1	5.2	52.6	16.8
Gy2	38.7	48.4	5.6	59.5	14.9
Gy3	56.0	58.0	5.7	68.1	13.0
Gy4	60.2	65.3	5.4	58.2	11.3
Gy5	47.4	51.5	9.0	57.3	17.6
Gy6	54.5	56.4	5.4	64.3	11.7
Gy7	54.8	78.7	5.8	63.0	12.1
Gy8	37.5	73.0	5.1	52.9	8.6
Gy9	44.4	63.5	5.3	55.9	11.6
Gy10	47.9	70.8	5.2	60.2	14.4
Gy11	40.7	55.6	6.0	96.2	15.9
Gy12	58.6	63.5	42.2	54.9	21.4
Gy13	35.1	49.8	5.1	57.3	15.1
Gy14	41.9	41.7	10.2	47.4	15.9
Gy15	35.0	39.1	5.6	65.0	15.7
Gy16	40.6	44.8	5.5	54.3	14.8
Gy17	41.7	50.0	6.3	60.5	10.3
Gy18	30.5	23.6	11.0	35.8	13.2
Gy19	27.6	31.9	10.0	52.6	9.1
Gy20	32.2	43.5	6.6	95.7	15.6
Gy21	35.9	38.6	7.1	70.1	15.2
Gy22	29.7	29.3	9.0	41.5	13.6
Gy23	31.7	36.8	6.8	65.8	24.0
Gy24	29.1	45.8	5.9	54.5	24.6
Gy25	29.8	45.8	5.6	47.3	25.0
Gy26	29.6	42.2	6.0	61.3	26.0
Gy27	20.9	46.7	7.3	67.9	26.1
Gy28	9.8	26.2	19.5	36.8	21.9
Gy29	13.7	38.7	16.1	43.5	23.6
Gy30	26.9	40.2	6.8	80.0	26.9
Gy31	35.9	40.7	6.2	62.5	28.5
Gy32	27.2	51.7	8.9	50.9	27.8
Gy33	42.3	46.3	6.4	80.1	27.1
Gy34	23.8	38.2	13.3	64.8	23.0
Gy35	58.0	38.7	6.9	71.5	30.5
Gy36	41.8	33.8	6.1	46.5	25.6
Gy37	51.5	53.2	7.7	85.5	29.0
Gy38	65.9	71.8	8.5	51.0	28.3
Gy39	34.5	50.3	11.8	38.1	21.0
Gy40	6.1	---	24.9	33.7	19.6

Anexo XXV (Continuación)

Porcentaje de biodisponibilidad potencial con respecto a la concentración total de metales pesados en la Bahía de Guaymas, Son.

Muestra	Cd	Cu	Fe	Pb	Zn
Gy41	41.7	66.9	22.6	53.1	27.9
Gy42	23.4	28.4	17.8	22.6	22.6
Gy43	12.8	52.4	15.6	23.4	16.2
Gy44	17.8	55.9	16.3	24.8	16.1
Gy45	11.8	24.1	14.0	20.3	12.6
Gy46	8.0	44.6	15.2	16.6	14.6
Gy47	7.8	44.3	17.9	9.8	11.7
Gy48	13.4	51.7	18.6	14.7	17.2
Gy49	12.6	88.4	20.2	24.3	21.6
Gy50	18.5	63.9	19.0	29.7	19.4
Gy51	9.0	----	15.7	26.5	14.1
Prom.	32.9	48.8	10.8	51.6	18.8
Desv. est.	15.6	14.2	7.1	20.1	6.2

Anexo XXVI

Concentración de carbonatos, C orgánico y metales pesados en el Núcleo GYN, Guaymas, Son.

Prof. (cm)	CO ₃ ²⁻ (%)	C-org (%)	Al (%)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Li (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cu/Zn
0.5	5.9	5.4	6.5	5.6	45.0	32.1	110	2.9	8.2	301	49.0	187	395	0.28
1.5	6.6	6.3	7.1	5.0	46.0	30.1	109	3.0	7.9	297	51.1	203	409	0.27
2.5	5.6	5.5	6.7	5.6	44.8	33.7	119	2.9	9.0	308	50.9	203	462	0.26
3.5	5.9	5.6	6.7	5.0	46.4	34.2	107	2.9	9.4	306	47.0	216	433	0.25
4.5	5.7	5.2	7.4	5.0	45.9	35.6	95	3.1	8.2	342	49.7	234	409	0.23
5.5	6.1	5.0	7.2	4.3	47.8	35.3	86	3.2	7.8	327	49.9	235	358	0.24
6.5	6.3	4.3	6.5	3.7	48.9	37.8	81	3.3	7.3	340	48.5	269	334	0.24
7.5	2.1	4.6	7.4	2.5	47.3	36.5	102	3.0	7.8	340	49.9	329	362	0.28
8.5	8.0	0.2	7.6	1.8	50.7	45.6	112	3.2	8.6	336	50.1	317	438	0.26
9.5	9.1	0.1	7.4	1.2	38.6	46.8	114	3.3	7.6	355	49.3	366	452	0.25
10.5	8.6	0.1	6.8	0.6	41.8	44.4	150	3.1	8.0	299	51.4	403	492	0.31
11.5	8.9	0.1	6.9		39.7	48.6	157	2.9	7.4	328	54.1	438	501	0.31
12.5	10.0	0.1	6.7	1.2	38.3	43.3	156	3.0	8.1	349	44.5	335	464	0.34
13.5	6.5	4.8	7.2	5.7	48.0	46.3	168	3.2	7.8	345	54.4	314	431	0.39
14.5	9.0	4.9	6.5	0.6	42.8	42.0	172	3.2	7.5	247	41.5	402	513	0.34
15.5	9.2	5.3	6.0		37.8	40.9	128	3.0	7.6	321	36.9	328	424	0.30
16.5	9.7	4.9	6.8	0.6	44.7	45.6	189	2.9	7.7	318	41.6	373	493	0.38
17.5	8.5	5.8	6.0		43.3	45.7	149	3.0	8.0	311	37.5	333	423	0.35
18.5	7.5	5.3	7.2		47.3	43.9	131	3.2	6.9	317	41.2	308	372	0.35
Prom.	7.3	3.9	6.9	3.2	44.5	40.4	128	3.1	7.9	320	47.3	305	430	0.30
esv. est	2.0	2.3	0.4	2.1	3.8	5.7	31	0.2	0.6	25	5.2	75	51	0.05

Anexo XXVII

Análisis de componentes principales (cargas por muestra).

Estación	Comp. 1	Comp. 2
Gy1	0.25	0.87
Gy2	0.76	-0.03
Gy3	1.01	0.07
Gy4	1.29	-0.12
Gy5	-0.43	-0.63
Gy6	1.33	0.10
Gy7	1.09	-0.20
Gy8	1.76	-0.16
Gy9	1.27	-0.17
Gy10	1.06	0.56
Gy11	0.64	-0.36
Gy12	-1.67	-4.62
Gy13	1.23	0.27
Gy14	-0.34	-1.96
Gy15	1.10	-0.28
Gy16	0.93	-0.09
Gy17	1.54	-1.51
Gy18	0.20	-1.56
Gy19	-0.66	-2.63
Gy20	0.54	-0.03
Gy21	0.41	0.05
Gy22	-0.21	-0.30
Gy23	0.43	0.68
Gy24	0.61	0.01

Estación	Comp. 1	Comp. 2
Gy25	0.81	-0.13
Gy26	0.50	-0.34
Gy27	0.40	0.12
Gy28	-1.37	0.15
Gy29	-1.27	0.16
Gy30	0.23	0.79
Gy31	0.35	0.73
Gy32	-0.43	0.64
Gy33	0.21	0.41
Gy34	-1.19	0.43
Gy35	0.38	0.62
Gy36	0.56	0.98
Gy37	0.15	1.11
Gy38	0.35	0.03
Gy39	-0.92	0.67
Gy41	-1.63	0.45
Gy42	-1.57	0.62
Gy43	-1.36	0.57
Gy44	-1.11	0.55
Gy45	-1.09	0.29
Gy46	-0.93	0.45
Gy47	-1.27	0.53
Gy48	-1.36	0.76
Gy49	-1.32	0.53
Gy50	-1.26	0.94

Anexo XXVIII

Porcentaje de carbonatos y C orgánico en los sedimentos de la laguna de La Paz, B. C. S.

Muestra	CO ₃	C-org
S1	24.7	0.7
S2	14.6	0.1
S3	11.5	0.2
S4	8.2	0.3
S5	6.5	0.2
S6	8.3	0.2
S7	29.4	0.6
S8	8.4	0.2
S9	7.9	1.1
S10	20.8	1.3
S11	31.4	0.7
S12	38.3	1.2
S13	74.6	1.4
S14	12.3	0.7
S15	11.9	0.6
S16	9.9	0.4
S17	11.0	0.7
S18	45.4	0.5
S19	29.3	0.7
S20	7.4	0.7
S21	5.1	0.5
S22	22.6	0.9
S23	6.5	0.2
S24	1.5	0.6
S25	2.8	0.6
S26	3.6	0.3
S27	5.4	1.9
S28	11.6	1.1
S29	15.6	0.7
S32	29.4	2.3
S33	4.6	1.8
S34	64.2	2.0
S35	53.5	2.5

Muestra	CO ₃	C-org
V38	12.0	2.3
V39	1.3	0.4
V40	10.3	0.2
V41	4.8	ND
V42	13.8	ND
V43	6.6	ND
V45	68.8	0.7
V47	25.3	0.6
V48	9.2	0.8
V49	28.5	0.5
S51	13.6	0.3
S52	62.1	1.6
S53	4.7	2.3
S54	5.9	2.6
S55	6.0	2.3
S56	25.7	1.5
S57	30.1	2.3
S59	4.0	1.9
S60	39.0	0.3
S61	6.6	2.1
S62	8.2	0.5
S63	37.0	2.5
S64	7.5	1.4
S66	6.4	2.1
S67	7.5	2.8
S68	58.7	0.1
S69	4.8	0.1
S70	26.0	0.1
S71	35.6	0.2
S72	20.6	1.8
S73	27.4	1.6
S74	39.9	1.0
S75	24.0	ND

Muestra	CO ₃	C-org
S76	10.1	0.3
S80	90.0	0.8
S81	69.0	0.6
S82	43.8	0.6
S83	41.3	0.4
S84	68.7	0.5
S85	7.6	0.3
S86	91.9	0.9
S87	41.6	0.4
S88	10.2	0.5
S89	10.5	0.5
S90	11.7	0.3
S91	47.2	2.7
S92	8.1	2.8
S93	27.9	3.1
R1	54.2	2.4
R2	72.8	2.3
R4	63.2	2.7
R5	82.1	3.5
R6	51.5	3.8
R7	25.8	2.8
R8	31.9	1.7
R9	14.1	1.6
R10	12.7	2.0
R11	6.1	2.5
R12	26.4	2.0
R13	58.7	1.5
R14	88.3	1.1
R15	88.7	0.4
R16	15.7	0.3
R17	48.8	0.5
R18	33.3	0.4
R19	Nd	0.5

Muestra	CO ₃	C-org
R20	40.0	0.3
R21	5.0	0.2
R22	3.6	0.4
R23	12.0	0.2
R24	13.6	0.1
R25	37.8	0.2
Prom.	26.8	1.1
Des. es.	23.8	0.9

Arroyos

Muestra	CO ₃	C-org
T1	5.9	3.4
T2	4.4	2.7
T3	3.5	1.2
T4	1.8	1.2
T5	1.8	3.3
T6	0.3	2.8
T7	4.8	3.0
T8	0.7	2.0
T9	3.7	0.9
T10	1.8	ND
T11	1.4	0.1
T12	9.4	1.5
T13	4.8	1.4
T14	9.5	1.7
T15	9.2	0.8
T16	1.9	0.4
Prom.	4.0	1.8
Des. es.	3.1	1.1

Anexo XXIX

Concentración total de metales pesados en sedimentos de la laguna de La Paz, B. C. S.

Muestra	Al (%)	Cd (ug/g)	Zn/Cd	Co (ug/g)	Cr (ug/g)	Cu (ug/g)	Fe (%)	Li (ug/g)	Mn (ug/g)	Ni (ug/g)	Pb (ug/g)	Zn (ug/g)
S1	2.1	4.3	4.5	18.0	18.2	5.9	0.3	1.5	287	17.5	66.0	19.5
S2	8.0	4.2	9.6	37.4	83.3	6.6	1.5	3.8	294	29.3	44.7	40.4
S3	7.9	4.1	8.1	34.8	45.7	5.8	1.1	3.7	198	25.3	42.6	33.2
S4	8.2	4.9	13.0	51.9	193.7	9.9	2.9	4.1	455	42.3	67.5	63.7
S5	8.7	4.6	9.5	44.0	97.7	7.4	1.7	3.8	271	32.5	47.5	43.7
S6	8.5	3.9	13.1	46.6	107.4	7.2	1.9	4.4	386	34.2	40.5	51.6
S7	1.4	4.5	3.5	21.5	24.3	6.5	0.2	1.2	90	19.2	64.6	15.8
S8	9.4	3.5	9.6	44.4	52.4	7.1	1.2	4.1	196	30.3	32.1	33.8
S9	8.7	3.3	10.5	38.2	69.9	8.8	1.2	4.3	212	31.4	39.9	34.7
S10	8.3	3.9	12.1	43.3	61.8	9.1	1.2	4.1	203	28.8	48.5	47.1
S11	13.2	5.7	14.2	73.3	164.7	18.0	3.1	5.5	565	55.4	60.4	81.3
S12	5.0	4.5	7.8	36.3	65.0	9.1	1.3	2.9	244	29.7	56.7	35.2
S13	1.3	4.5	3.7	20.8	20.3	7.3	0.2	1.3	201	18.4	83.7	16.7
S14	8.9	4.0	13.5	43.7	57.8	8.3	1.5	3.6	222	26.2	25.8	54.5
S15	9.3	3.7	13.4	46.2	58.6	9.2	1.6	3.7	251	25.8	50.4	50.0
S16	8.9	3.7	13.9	45.8	68.4	7.6	1.5	3.7	223	29.0	58.0	51.3
S17	8.6	3.7	9.6	42.6	37.7	4.6	0.9	3.8	128	20.3	51.3	35.5
S18	4.2	3.6	5.9	27.1	15.2	5.1	0.3	2.7	61	19.5	47.9	21.3
S19	9.0	3.0	11.3	42.6	30.8	4.6	0.9	3.5	141	22.9	48.4	33.8
S20	10.1	3.0	14.5	40.7	30.3	7.7	1.0	4.1	139	22.3	47.7	43.7
S21	8.5	2.6	11.6	39.2	34.7	4.9	1.2	3.3	137	25.9	54.6	30.5
S22	6.8	2.6	10.7	35.5	18.5	5.3	0.7	3.2	109	25.2	44.1	28.4
S23	8.8	2.2	10.3	35.4	19.8	7.8	0.7	3.4	57	22.9	51.1	23.0
S24	9.8	2.0	14.7	41.9	22.2	9.9	0.9	3.2	116	26.6	48.4	29.8
S25	9.5	2.6	13.3	46.0	19.4	5.6	1.3	3.7	186	29.7	55.9	35.0
S26	9.5	2.2	18.5	39.7	20.8	7.8	1.0	2.5	169	25.5	46.5	41.4
S27	8.6	2.7	30.2	49.2	38.7	28.8	2.6	8.5	171	35.7	47.0	80.4
S28	8.2	2.4	20.3	31.8	23.7	16.6	1.7	5.1	238	32.9	61.0	49.3
S29	8.1	2.7	17.4	46.4	25.6	14.5	1.8	4.6	273	30.8	62.5	46.3
S32	7.8	2.8	20.8	42.9	28.9	14.2	1.7	5.5	270	32.7	56.5	59.2
S33	9.9	2.8	13.3	39.8	13.7	5.0	0.9	3.5	127	26.9	82.8	37.7
S34	3.5	3.5	4.6	22.4	13.7	5.9	0.3	1.5	56	24.7	68.6	15.9

Anexo XXIX (Continuación)

Concentración total de metales pesados en sedimentos de la laguna de La Paz, B. C. S.

Muestra	Al (%)	Cd (ug/g)	Zn/Cd	Co (ug/g)	Cr (ug/g)	Cu (ug/g)	Fe (%)	Li (ug/g)	Mn (ug/g)	Ni (ug/g)	Pb (ug/g)	Zn (ug/g)
S35	5.0	3.2	8.3	29.8	19.7	5.2	0.8	2.1	119	22.9	78.5	26.3
V38	9.6	2.8	24.1	41.5	24.0	12.7	1.4	4.8	164	29.2	88.9	67.2
V39	8.3	3.0	9.7	35.3	9.4	3.1	0.9	3.4	72	23.1	33.6	28.8
V40	9.0	3.3	12.6	39.2	16.1	8.7	1.3	4.4	49	28.5	57.5	41.6
V41	9.8	2.7	17.2	41.3	17.9	12.4	1.2	4.7	152	24.7	78.1	47.1
V42	8.5	2.9	7.6	37.7	16.3	3.1	0.8	3.3	103	26.5	57.8	21.8
V43	8.3	3.7	13.8	45.0	67.3	4.9	1.5	3.9	219	32.8	54.9	50.7
V45	10.0	4.0	9.8	25.5	13.7	9.8	0.7	3.5	118	24.4	57.2	39.3
V47	8.2	3.0	10.9	35.1	16.2	3.8	0.9	3.0	115	19.2	45.8	33.1
V48	8.6	3.3	11.9	40.5	24.4	3.7	1.0	3.5	127	20.5	42.7	39.7
V49	6.3	3.0	9.0	35.4	16.7	4.3	0.7	2.8	85	20.7	56.4	27.2
S51	6.8	2.7	17.9	33.9	10.4	3.9	0.9	3.6	106	22.0	61.7	47.6
S52	3.5	3.8	13.3	27.8	19.0	10.2	1.0	4.4	174	20.7	46.5	50.2
S53	8.1	2.6	48.1	51.6	39.7	28.7	3.7	14.8	295	29.8	39.3	124.8
S54	8.0	2.8	43.6	48.6	38.0	27.3	3.5	13.7	299	26.5	34.1	122.2
S55	8.0	3.1	34.5	47.4	34.5	24.1	3.1	12.6	267	25.2	31.0	105.9
S56	6.7	3.3	21.6	41.3	28.8	17.9	2.1	8.6	221	21.1	46.3	71.7
S57	5.2	2.5	31.1	36.4	23.8	21.8	1.9	9.6	212	35.7	47.4	79.0
S59	6.6	3.0	30.6	42.2	30.6	21.7	2.6	10.6	245	26.5	40.8	92.3
S60	6.4	2.9	10.6	33.4	10.4	3.3	0.4	2.6	45	28.1	60.4	30.6
S61	8.6	2.8	43.2	47.5	35.3	30.4	3.6	15.2	301	37.8	40.2	120.3
S62	9.0	2.6	23.0	42.8	31.2	4.9	1.6	4.9	165	29.0	43.3	60.7
S63	8.0	3.1	33.1	49.8	33.4	25.0	3.1	12.3	299	36.0	23.8	103.4
S64	8.5	3.0	27.5	48.9	35.1	16.3	2.6	8.9	293	36.4	41.3	83.0
S66	9.2	2.3	45.0	49.5	38.1	28.0	3.8	14.0	366	37.7	32.8	104.1
S67	8.1	2.6	36.1	46.3	37.3	26.6	3.6	12.9	299	35.9	43.7	94.9
S68	4.2	3.6	6.0	29.4	23.4	6.9	0.6	2.5	97	27.2	67.7	21.5
S69	10.5	2.6	14.4	42.4	36.1	5.3	1.1	4.9	151	28.6	46.7	37.0
S70	7.5	3.8	6.7	39.8	15.5	6.4	1.5	4.1	176	28.1	49.8	25.4
S71	6.4	3.3	0.8	32.7	10.3	2.5	0.3	2.0	29	25.3	27.0	2.8
S72	6.9	2.6	22.3	44.0	29.7	21.6	2.5	9.0	277	34.7	47.5	58.8
S73	6.2	2.9	22.2	42.4	28.8	22.3	2.5	10.2	292	35.1	52.1	64.7

Anexo XXIX (Continuación)

Concentración total de metales pesados en sedimentos de la laguna de La Paz, B. C. S.

Muestra	Al (%)	Cd (ug/g)	Zn/Cd	Co (ug/g)	Cr (ug/g)	Cu (ug/g)	Fe (%)	Li (ug/g)	Mn (ug/g)	Ni (ug/g)	Pb (ug/g)	Zn (ug/g)
S74	5.5	3.4	13.0	38.6	22.7	14.7	1.8	6.4	236	31.8	40.5	43.7
S75	7.4	3.1	9.1	39.4	22.1	4.4	1.3	3.6	118	29.4	29.0	28.4
S76	8.7	2.6	10.6	44.0	22.6	5.7	1.6	4.5	136	27.5	52.3	27.9
S80	0.6	4.0	0.9	15.9	11.9	4.2	0.1	0.9	54	17.1	42.6	3.6
S81	3.1	3.7	2.3	26.1	13.0	4.7	0.3	1.5	67	22.0	49.6	8.4
S82	3.6	3.2	7.7	24.6	9.1	5.3	0.3	2.3	54	21.5	43.5	24.5
S83	5.1	3.4	2.8	28.3	8.3	3.2	0.2	2.3	33	22.2	36.1	9.7
S84	1.8	3.5	5.6	20.1	11.1	5.4	0.1	1.6	69	16.9	29.8	19.9
S85	9.0	3.5	8.3	41.1	15.6	4.3	1.2	4.3	134	28.1	28.1	29.2
S86	0.5	3.7	2.0	19.8	12.0	8.4	0.8	0.8	81	18.2	75.5	7.7
S87	5.3	3.3	5.1	31.5	13.3	3.4	0.7	2.4	86	19.8	38.6	17.1
S88	9.1	2.8	7.5	41.6	13.0	2.9	0.9	2.9	94	27.4	45.0	20.7
S89	8.6	3.5	8.3	43.2	18.6	6.2	1.4	3.7	139	29.1	30.9	28.7
S90	8.7	3.4	9.9	44.8	17.6	5.6	1.3	4.2	126	30.7	54.1	33.8
S91	4.9	3.2	9.0	34.7	15.0	6.1	0.9	2.9	103	25.5	56.6	29.3
S92	9.0	3.2	10.7	44.0	24.4	7.4	1.5	4.1	149	32.3	31.4	34.2
S93	7.3	3.7	8.3	39.6	23.3	6.2	1.1	3.2	147	29.8	54.7	30.7
R1	3.7	4.2	20.4	29.9	27.7	6.0	1.3	4.5	117	26.6	95.2	86.2
R2	4.4	4.5	15.3	28.7	22.5	5.2	1.1	5.2	112	24.3	79.5	69.4
R4	3.3	4.3	7.6	26.8	19.6	5.0	0.2	3.4	85	24.6	85.9	32.7
R5	0.9	4.1	3.6	24.9	24.3	4.0	0.7	1.9	83	25.2	65.0	14.9
R6	4.8	4.3	9.1	24.4	23.2	6.9	1.1	4.5	84	23.6	80.8	39.3
R7	6.4	4.1	9.4	28.6	26.5	4.2	1.3	4.9	121	25.5	65.3	38.3
R8	7.7	4.1	9.7	20.1	27.7	3.5	1.1	5.4	176	26.8	44.3	39.3
R9	6.9	4.0	12.8	33.3	34.5	6.4	1.2	5.8	132	24.7	75.3	51.0
R10	7.7	4.1	10.0	33.8	33.5	6.4	1.3	5.6	181	26.9	64.0	41.1
R11	7.4	3.9	16.9	36.4	38.3	5.6	2.1	6.5	258	30.0	58.5	65.2
R12	7.1	4.0	14.2	33.8	31.7	6.4	1.7	6.6	198	28.5	65.9	55.9
R13	3.0	5.1	5.1	18.9	14.8	4.0	0.6	3.1	102	22.6	90.5	26.0
R14	0.5	4.4	2.5	12.9	12.2	4.6	0.0	1.0	37	16.6	77.6	10.9
R15	0.5	4.3	2.3	12.1	14.4	5.2	0.1	0.8	53	14.1	63.0	9.8
R16	7.9	3.7	12.5	34.7	38.8	5.6	1.5	3.5	270	26.8	37.3	45.7

Anexo XXIX (Continuación)

Concentración total de metales pesados en sedimentos de la laguna de La Paz, B. C. S.

Muestra	Al (%)	Cd (ug/g)	Zn/Cd	Co (ug/g)	Cr (ug/g)	Cu (ug/g)	Fe (%)	Li (ug/g)	Mn (ug/g)	Ni (ug/g)	Pb (ug/g)	Zn (ug/g)
R17	8.0	3.4	16.9	40.3	49.8	7.1	1.9	4.2	354	26.3	56.9	58.0
R18	7.9	4.7	13.5	39.7	51.7	5.6	2.1	4.3	292	28.0	38.4	62.8
R19	7.8	3.5	16.4	39.2	42.6	7.6	1.9	4.2	275	28.2	41.0	58.2
R20	13.7	9.4	8.6	64.2	75.7	18.3	2.5	4.9	317	45.7	73.5	80.7
R21	8.2	3.6	12.8	38.0	59.0	7.4	1.6	3.6	243	27.7	37.3	46.4
R22	8.1	3.5	13.9	30.9	76.3	8.2	1.9	3.4	308	28.8	44.0	49.3
R23	7.7	3.1	13.7	36.4	20.6	7.0	1.2	4.2	162	24.5	53.9	42.0
R24	7.0	3.4	11.0	32.0	18.0	4.8	1.2	3.8	163	23.6	50.4	36.9
R25	4.2	3.4	9.8	24.2	18.5	4.4	0.8	2.3	173	20.3	70.2	32.9
Prom.	7.0	3.5	13.7	36.9	33.2	9.1	1.4	4.6	178	27.1	52.7	44.7
esv. est	2.7	0.9	9.5	10.1	28.3	6.9	0.9	3.1	98	6.2	15.7	26.1

Arroyos

Muestra	Al	Cd	Zn/Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	Zn
T1	7.5	4.5	23.1	61.6	231.3	11.5	6.1	4.0	844	59.4	57.6	104.6
T2	6.7	3.5	17.4	43.0	93.4	7.9	3.1	3.8	385	37.8	42.2	60.6
T3	9.2	3.0	13.0	46.0	47.4	7.5	1.6	3.6	223	35.0	44.5	39.2
T4	8.9	2.7	17.4	41.6	33.2	5.9	1.8	3.7	202	28.4	38.5	46.4
T5	8.0	2.9	13.1	38.9	29.5	9.5	1.3	4.2	198	26.6	54.5	37.9
T6	8.2	2.8	11.4	35.5	14.9	5.0	1.1	3.3	216	24.1	47.7	31.9
T7	8.1	3.2	16.5	44.5	74.9	7.9	2.5	3.8	344	35.2	47.5	53.4
T8	6.7	2.4	11.2	26.2	10.5	4.7	1.1	3.0	139	16.5	24.1	26.9
T9	7.9	2.7	14.8	31.9	6.9	4.3	0.7	3.7	147	23.1	35.8	39.9
T10	8.1	2.3	25.6	32.3	16.3	3.6	1.3	3.5	147	18.1	47.2	58.7
T11	6.5	2.4	13.5	25.7	5.1	2.6	0.9	3.6	169	18.5	45.3	32.2
T12	8.9	3.3	16.7	41.4	28.2	9.5	1.8	6.5	363	29.1	48.1	54.6
T13	9.9	3.6	13.4	47.0	25.6	10.0	1.0	4.9	427	32.0	52.6	47.6
T14	9.4	3.3	16.3	48.2	25.2	29.2	2.7	8.5	480	32.9	36.0	54.4
T15	9.1	3.3	22.6	51.3	38.2	38.4	3.2	8.7	472	38.7	38.5	74.9
T16	9.2	2.6	7.9	31.4	7.6	7.4	0.7	2.8	133	18.7	63.2	20.6
Prom.	8.3	3.0	15.9	40.4	43.0	10.3	1.9	4.5	306	29.6	45.2	49.0
esv. est	1.0	0.6	4.7	9.6	55.8	9.6	1.4	1.8	189	10.8	9.5	20.4

Anexo XXX

Factor de enriquecimiento (Buat-Menárd, 1979) en los sedimentos de la laguna de La Paz. Usando Al como elemento conservativo.

Muestra	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
S1	0.5	0.2	1.1	0.9	0.9
S2	0.1	0.3	0.3	0.4	0.5
S3	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4
S4	0.2	0.6	0.4	0.6	0.8
S5	0.1	0.3	0.3	0.4	0.5
S6	0.1	0.4	0.4	0.4	0.6
S7	0.8	0.3	0.5	1.5	1.2
S8	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4
S9	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4
S10	0.2	0.3	0.2	0.4	0.6
S11	0.2	0.4	0.3	0.5	0.6
S12	0.3	0.5	0.4	0.6	0.7
S13	0.9	0.3	1.3	1.6	1.3
S14	0.2	0.3	0.2	0.3	0.6
S15	0.2	0.3	0.2	0.3	0.5
S16	0.1	0.3	0.2	0.4	0.6
S17	0.1	0.2	0.1	0.3	0.4
S18	0.2	0.1	0.1	0.5	0.5
S19	0.1	0.2	0.1	0.3	0.4
S20	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4
S21	0.1	0.2	0.1	0.3	0.4
S22	0.1	0.2	0.1	0.4	0.4
S23	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3
S24	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3
S25	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4
S26	0.1	0.2	0.1	0.3	0.4
S27	0.5	0.5	0.2	0.4	0.9
S28	0.3	0.4	0.2	0.4	0.6
S29	0.3	0.4	0.3	0.4	0.6
S32	0.3	0.4	0.3	0.5	0.8
S33	0.1	0.2	0.1	0.3	0.4
S34	0.3	0.2	0.1	0.8	0.5
S35	0.2	0.3	0.2	0.5	0.5
V38	0.2	0.3	0.1	0.3	0.7
V39	0.1	0.2	0.1	0.3	0.4
V40	0.2	0.3	0.0	0.3	0.5
V41	0.2	0.2	0.1	0.3	0.5
V42	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3
V43	0.1	0.3	0.2	0.4	0.6
V45	0.2	0.1	0.1	0.3	0.4
V47	0.1	0.2	0.1	0.3	0.4
V48	0.1	0.2	0.1	0.3	0.5
V49	0.1	0.2	0.1	0.4	0.4
S51	0.1	0.2	0.1	0.3	0.7
S52	0.5	0.5	0.4	0.6	1.5
S53	0.6	0.8	0.3	0.4	1.6

Anexo XXX (Continuación)

Factor de enriquecimiento (Buat-Menárd, 1979) en los sedimentos de la laguna de La Paz. Usando Al como elemento conservativo.

Muestra	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
S54	0.6	0.8	0.3	0.4	1.5
S55	0.5	0.7	0.3	0.3	1.3
S56	0.4	0.6	0.3	0.3	1.1
S57	0.7	0.7	0.3	0.7	1.5
S59	0.5	0.7	0.3	0.4	1.4
S60	0.1	0.1	0.1	0.5	0.5
S61	0.6	0.7	0.3	0.5	1.4
S62	0.1	0.3	0.1	0.3	0.7
S63	0.5	0.7	0.3	0.5	1.3
S64	0.3	0.5	0.3	0.5	1.0
S66	0.5	0.7	0.3	0.4	1.1
S67	0.5	0.8	0.3	0.5	1.2
S68	0.3	0.2	0.2	0.7	0.5
S69	0.1	0.2	0.1	0.3	0.4
S70	0.1	0.3	0.2	0.4	0.3
S71	0.1	0.1	0.0	0.4	0.0
S72	0.5	0.6	0.3	0.5	0.9
S73	0.6	0.7	0.4	0.6	1.0
S74	0.4	0.6	0.3	0.6	0.8
S75	0.1	0.3	0.1	0.4	0.4
S76	0.1	0.3	0.1	0.3	0.3
S80	1.1	0.3	0.7	2.9	0.6
S81	0.2	0.2	0.2	0.8	0.3
S82	0.2	0.2	0.1	0.6	0.7
S83	0.1	0.1	0.1	0.5	0.2
S84	0.5	0.1	0.3	1.0	1.1
S85	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3
S86	2.5	2.6	1.2	3.6	1.4
S87	0.1	0.2	0.1	0.4	0.3
S88	0.1	0.2	0.1	0.3	0.2
S89	0.1	0.3	0.1	0.4	0.3
S90	0.1	0.3	0.1	0.4	0.4
S91	0.2	0.3	0.2	0.6	0.6
S92	0.1	0.3	0.1	0.4	0.4
S93	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4
R1	0.3	0.6	0.3	0.8	2.3
R2	0.2	0.4	0.2	0.6	1.6
R4	0.2	0.1	0.2	0.8	1.0
R5	0.8	1.4	0.8	3.2	1.8
R6	0.2	0.4	0.1	0.5	0.8
R7	0.1	0.4	0.2	0.4	0.6
R8	0.1	0.2	0.2	0.4	0.5
R9	0.2	0.3	0.2	0.4	0.8
R10	0.1	0.3	0.2	0.4	0.5
R11	0.1	0.5	0.3	0.4	0.9
R12	0.1	0.4	0.2	0.4	0.8

Anexo XXX (Continuación)

Factor de enriquecimiento (Buat-Menárd, 1979) en los sedimentos de la laguna de La Paz. Usando Al como elemento conservativo.

Muestra	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
R13	0.2	0.4	0.3	0.8	0.9
R14	1.5	0.1	0.6	3.6	2.2
R15	1.7	0.3	0.8	3.0	2.0
R16	0.1	0.3	0.3	0.4	0.6
R17	0.1	0.4	0.4	0.4	0.7
R18	0.1	0.5	0.3	0.4	0.8
R19	0.2	0.4	0.3	0.4	0.8
R20	0.2	0.3	0.2	0.4	0.6
R21	0.1	0.3	0.2	0.4	0.6
R22	0.2	0.4	0.3	0.4	0.6
R23	0.1	0.3	0.2	0.3	0.6
R24	0.1	0.3	0.2	0.4	0.5
R25	0.2	0.4	0.3	0.5	0.8
Promedio	0.3	0.4	0.3	0.6	0.7
Desv. est.	0.3	0.3	0.2	0.6	0.4

Arroyos

Muestra	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
T1	0.2	1.4	0.9	0.9	1.4
T2	0.2	0.8	0.5	0.6	0.9
T3	0.1	0.3	0.2	0.4	0.4
T4	0.1	0.3	0.2	0.3	0.5
T5	0.2	0.3	0.2	0.4	0.5
T6	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4
T7	0.2	0.5	0.3	0.5	0.7
T8	0.1	0.3	0.2	0.3	0.4
T9	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5
T10	0.1	0.3	0.1	0.2	0.7
T11	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5
T12	0.2	0.4	0.3	0.4	0.6
T13	0.2	0.2	0.4	0.4	0.5
T14	0.5	0.5	0.4	0.4	0.6
T15	0.7	0.6	0.4	0.5	0.8
T16	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
Promedio	0.2	0.4	0.3	0.4	0.6
Desv. est.	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3

Anexo XXXI

Factor de enriquecimiento (Buat-Menárd, 1979) en los sedimentos de la laguna de La Paz. Usando Li como elemento conservativo.

Muestra	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
S1	2.3	1.3	5.7	4.6	4.8
S2	1.0	2.5	2.3	3.0	3.9
S3	0.9	2.0	1.6	2.8	3.4
S4	1.5	4.5	3.3	4.1	5.9
S5	1.2	2.9	2.1	3.4	4.3
S6	1.0	2.8	2.7	3.1	4.4
S7	3.2	1.2	2.2	6.3	4.8
S8	1.0	1.8	1.4	2.9	3.1
S9	1.2	1.8	1.5	2.9	3.0
S10	1.3	2.0	1.5	2.8	4.3
S11	2.0	3.6	3.1	4.0	5.5
S12	1.9	3.0	2.5	4.1	4.6
S13	3.5	1.3	4.8	5.8	5.0
S14	1.4	2.6	1.8	2.9	5.6
S15	1.5	2.8	2.0	2.8	5.1
S16	1.2	2.6	1.8	3.1	5.2
S17	0.7	1.5	1.0	2.1	3.5
S18	1.1	0.8	0.7	2.9	3.0
S19	0.8	1.7	1.2	2.6	3.6
S20	1.1	1.7	1.0	2.2	4.0
S21	0.9	2.3	1.2	3.2	3.5
S22	1.0	1.5	1.0	3.2	3.4
S23	1.4	1.3	0.5	2.7	2.5
S24	1.8	1.7	1.1	3.3	3.5
S25	0.9	2.2	1.5	3.2	3.6
S26	1.8	2.7	2.0	4.0	6.1
S27	2.0	2.0	0.6	1.7	3.5
S28	1.9	2.1	1.4	2.6	3.6
S29	1.9	2.6	1.8	2.7	3.8
S32	1.6	2.0	1.5	2.4	4.0
S33	0.9	1.6	1.1	3.1	4.1
S34	2.3	1.3	1.1	6.4	3.9
S35	1.5	2.4	1.7	4.4	4.7
V38	1.6	1.9	1.0	2.4	5.3
V39	0.5	1.7	0.6	2.7	3.2
V40	1.2	2.0	0.3	2.6	3.6
V41	1.6	1.6	1.0	2.1	3.7
V42	0.6	1.6	0.9	3.2	2.5
V43	0.8	2.5	1.7	3.4	4.9
V45	1.7	1.4	1.0	2.8	4.2
V47	0.8	2.0	1.1	2.6	4.1
V48	0.6	1.9	1.1	2.4	4.3
V49	0.9	1.6	0.9	3.0	3.7
S51	0.7	1.7	0.9	2.5	5.0
S52	1.4	1.5	1.2	1.9	4.3
S53	1.2	1.6	0.6	0.8	3.2

Anexo XXXI (Continuación)

Factor de enriquecimiento (Buat-Menárd, 1979) en los sedimentos de la laguna de La Paz. Usando Li como elemento conservativo.

Muestra	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
S54	1.2	1.6	0.7	0.8	3.3
S55	1.1	1.6	0.6	0.8	3.2
S56	1.3	1.6	0.8	1.0	3.1
S57	1.4	1.3	0.7	1.5	3.1
S59	1.2	1.6	0.7	1.0	3.3
S60	0.8	1.1	0.5	4.3	4.4
S61	1.2	1.5	0.6	1.0	3.0
S62	0.6	2.1	1.0	2.4	4.7
S63	1.2	1.6	0.7	1.2	3.1
S64	1.1	1.9	1.0	1.6	3.5
S66	1.2	1.7	0.8	1.1	2.8
S67	1.2	1.8	0.7	1.1	2.8
S68	1.7	1.5	1.2	4.4	3.2
S69	0.7	1.5	0.9	2.3	2.8
S70	1.0	2.3	1.3	2.8	2.3
S71	0.7	0.8	0.4	5.0	0.5
S72	1.4	1.8	0.9	1.5	2.5
S73	1.3	1.6	0.9	1.4	2.4
S74	1.4	1.8	1.1	2.0	2.5
S75	0.7	2.2	1.0	3.3	3.0
S76	0.8	2.2	0.9	2.4	2.3
S80	2.8	0.7	1.8	7.7	1.5
S81	1.8	1.3	1.3	5.7	2.1
S82	1.4	0.9	0.7	3.7	4.0
S83	0.8	0.7	0.4	3.9	1.6
S84	2.0	0.4	1.3	4.2	4.6
S85	0.6	1.8	0.9	2.6	2.5
S86	5.9	6.1	2.9	8.6	3.4
S87	0.8	1.9	1.1	3.3	2.6
S88	0.6	1.9	1.0	3.7	2.6
S89	1.0	2.5	1.1	3.2	2.9
S90	0.8	2.0	0.9	2.9	3.0
S91	1.2	1.9	1.0	3.5	3.7
S92	1.1	2.3	1.1	3.1	3.1
S93	1.2	2.2	1.4	3.7	3.6
R1	0.8	1.8	0.8	2.4	7.2
R2	0.6	1.4	0.6	1.9	5.0
R4	0.9	0.3	0.7	2.9	3.6
R5	1.3	2.3	1.3	5.4	3.0
R6	0.9	1.5	0.6	2.1	3.3
R7	0.5	1.7	0.7	2.1	2.9
R8	0.4	1.2	1.0	2.0	2.7
R9	0.7	1.4	0.7	1.7	3.3
R10	0.7	1.5	1.0	1.9	2.7
R11	0.5	2.1	1.2	1.8	3.7
R12	0.6	1.7	0.9	1.7	3.2

Anexo XXXI (Continuación)

Factor de enriquecimiento (Buat-Menárd, 1979) en los sedimentos de la laguna de La Paz. Usando Li como elemento conservativo.

Muestra	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
R13	0.8	1.3	1.0	2.9	3.2
R14	2.8	0.2	1.1	6.7	4.2
R15	3.9	0.7	2.0	7.1	4.6
R16	1.0	2.7	2.3	3.0	4.9
R17	1.0	3.0	2.5	2.5	5.2
R18	0.8	3.1	2.0	2.6	5.4
R19	1.1	3.0	2.0	2.7	5.2
R20	2.2	3.4	1.9	3.7	6.2
R21	1.2	2.8	2.0	3.1	4.8
R22	1.5	3.6	2.8	3.4	5.5
R23	1.0	1.8	1.1	2.3	3.7
R24	0.8	2.0	1.3	2.5	3.6
R25	1.2	2.4	2.3	3.6	5.4
Promedio	1.3	1.9	1.3	3.0	3.8
Desv. est.	0.8	0.8	0.8	1.5	1.1

Arroyos

Muestra	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
T1	1.7	9.9	6.4	6.0	9.9
T2	1.2	5.2	3.0	4.0	6.0
T3	1.3	3.0	1.9	3.9	4.1
T4	1.0	3.1	1.6	3.1	4.7
T5	1.4	2.1	1.4	2.5	3.4
T6	0.9	2.2	1.9	2.9	3.6
T7	1.3	4.3	2.7	3.7	5.3
T8	0.9	2.4	1.4	2.2	3.4
T9	0.7	1.2	1.2	2.5	4.0
T10	0.6	2.4	1.3	2.1	6.3
T11	0.4	1.6	1.4	2.1	3.4
T12	0.9	1.8	1.7	1.8	3.2
T13	1.2	1.4	2.6	2.6	3.6
T14	2.1	2.1	1.7	1.6	2.4
T15	2.6	2.4	1.6	1.8	3.2
T16	1.6	1.6	1.4	2.7	2.8
Promedio	1.2	2.9	2.1	2.8	4.3
Desv. est.	0.6	2.2	1.3	1.1	1.8

Anexo XXXII

Indice de geo-acumulación (Muller, 1979) en los sedimentos de la laguna de La Paz.

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
S1	4.8	-3.0	-3.7	-4.5	-2.4	-2.7	-2.6
S2	4.8	-0.8	-3.5	-2.2	-2.4	-1.9	-1.6
S3	4.8	-1.7	-3.7	-2.6	-2.9	-2.2	-1.9
S4	5.0	0.4	-2.9	-1.3	-1.7	-1.4	-0.9
S5	4.9	-0.6	-3.3	-2.0	-2.5	-1.8	-1.5
S6	4.7	-0.5	-3.4	-1.9	-2.0	-1.7	-1.2
S7	4.9	-2.6	-3.5	-4.9	-4.1	-2.6	-2.9
S8	4.6	-1.5	-3.4	-2.6	-2.9	-1.9	-1.8
S9	4.5	-1.1	-3.1	-2.6	-2.8	-1.8	-1.8
S10	4.7	-1.3	-3.0	-2.5	-2.9	-2.0	-1.3
S11	5.3	0.1	-2.1	-1.2	-1.4	-1.0	-0.6
S12	4.9	-1.2	-3.0	-2.4	-2.6	-1.9	-1.8
S13	4.9	-2.9	-3.4	-4.8	-2.9	-2.6	-2.8
S14	4.8	-1.4	-3.2	-2.2	-2.8	-2.1	-1.1
S15	4.6	-1.4	-3.0	-2.1	-2.6	-2.1	-1.3
S16	4.6	-1.1	-3.3	-2.3	-2.8	-2.0	-1.2
S17	4.6	-2.0	-4.0	-3.0	-3.6	-2.5	-1.8
S18	4.6	-3.3	-3.9	-4.3	-4.6	-2.5	-2.5
S19	4.3	-2.3	-4.0	-2.9	-3.4	-2.3	-1.8
S20	4.3	-2.3	-3.3	-2.7	-3.4	-2.3	-1.5
S21	4.1	-2.1	-3.9	-2.6	-3.5	-2.1	-2.0
S22	4.1	-3.0	-3.8	-3.2	-3.8	-2.2	-2.1
S23	3.9	-2.9	-3.3	-3.3	-4.7	-2.3	-2.4
S24	3.8	-2.8	-2.9	-3.0	-3.7	-2.1	-2.0
S25	4.1	-3.0	-3.7	-2.5	-3.0	-1.9	-1.8
S26	3.9	-2.8	-3.3	-2.7	-3.1	-2.1	-1.5
S27	4.1	-2.0	-1.4	-1.4	-3.1	-1.7	-0.6
S28	4.0	-2.7	-2.2	-2.1	-2.7	-1.8	-1.3
S29	4.2	-2.5	-2.4	-1.9	-2.5	-1.9	-1.4
S32	4.2	-2.4	-2.4	-2.0	-2.5	-1.8	-1.0
S33	4.2	-3.4	-3.9	-3.0	-3.6	-2.1	-1.7
S34	4.5	-3.5	-3.7	-4.5	-4.8	-2.2	-2.9
S35	4.4	-2.9	-3.8	-3.2	-3.7	-2.3	-2.2
V38	4.2	-2.6	-2.6	-2.3	-3.2	-1.9	-0.8
V39	4.3	-4.0	-4.6	-3.0	-4.4	-2.3	-2.1
V40	4.5	-3.2	-3.1	-2.4	-4.9	-2.0	-1.5
V41	4.2	-3.1	-2.6	-2.5	-3.3	-2.2	-1.3
V42	4.3	-3.2	-4.6	-3.1	-3.9	-2.1	-2.5
V43	4.6	-1.2	-3.9	-2.2	-2.8	-1.8	-1.2
V45	4.7	-3.5	-2.9	-3.2	-3.7	-2.2	-1.6
V47	4.3	-3.2	-4.3	-2.9	-3.7	-2.6	-1.9
V48	4.5	-2.6	-4.3	-2.7	-3.6	-2.5	-1.6
V49	4.3	-3.2	-4.1	-3.4	-4.1	-2.4	-2.1
S51	4.1	-3.9	-4.3	-2.9	-3.8	-2.4	-1.3
S52	4.7	-3.0	-2.9	-2.8	-3.1	-2.4	-1.3
S53	4.1	-1.9	-1.4	-0.9	-2.3	-1.9	0.1
S54	4.2	-2.0	-1.5	-1.0	-2.3	-2.1	0.0

Anexo XXXII (Continuación)

Indice de geo-acumulación (Muller, 1979) en los sedimentos de la laguna de La Paz.

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
S55	4.4	-2.1	-1.6	-1.1	-2.5	-2.2	-0.2
S56	4.5	-2.4	-2.1	-1.7	-2.8	-2.4	-0.7
S57	4.1	-2.7	-1.8	-1.8	-2.8	-1.7	-0.6
S59	4.3	-2.3	-1.8	-1.4	-2.6	-2.1	-0.4
S60	4.3	-3.9	-4.5	-4.0	-5.0	-2.0	-2.0
S61	4.2	-2.1	-1.3	-1.0	-2.3	-1.6	0.0
S62	4.1	-2.3	-3.9	-2.1	-3.2	-2.0	-1.0
S63	4.4	-2.2	-1.6	-1.1	-2.3	-1.6	-0.2
S64	4.3	-2.1	-2.2	-1.4	-2.4	-1.6	-0.5
S66	3.9	-2.0	-1.4	-0.9	-2.0	-1.6	-0.2
S67	4.1	-2.0	-1.5	-1.0	-2.3	-1.6	-0.3
S68	4.6	-2.7	-3.4	-3.6	-3.9	-2.0	-2.5
S69	4.1	-2.1	-3.8	-2.6	-3.3	-2.0	-1.7
S70	4.7	-3.3	-3.5	-2.2	-3.1	-2.0	-2.2
S71	4.5	-3.9	-4.9	-4.8	-5.7	-2.2	-5.4
S72	4.1	-2.3	-1.8	-1.5	-2.4	-1.7	-1.0
S73	4.3	-2.4	-1.7	-1.5	-2.4	-1.7	-0.9
S74	4.5	-2.7	-2.4	-2.0	-2.7	-1.8	-1.5
S75	4.4	-2.8	-4.1	-2.5	-3.7	-1.9	-2.1
S76	4.1	-2.7	-3.7	-2.2	-3.5	-2.0	-2.1
S80	4.7	-3.7	-4.2	-6.2	-4.8	-2.7	-5.0
S81	4.6	-3.5	-4.0	-4.5	-4.5	-2.4	-3.8
S82	4.4	-4.0	-3.8	-4.5	-4.8	-2.4	-2.3
S83	4.5	-4.2	-4.6	-4.9	-5.5	-2.3	-3.6
S84	4.6	-3.8	-3.8	-6.1	-4.5	-2.7	-2.6
S85	4.6	-3.3	-4.1	-2.5	-3.5	-2.0	-2.0
S86	4.6	-3.6	-3.2	-3.1	-4.2	-2.6	-4.0
S87	4.5	-3.5	-4.5	-3.3	-4.1	-2.5	-2.8
S88	4.2	-3.5	-4.7	-3.0	-4.0	-2.0	-2.5
S89	4.5	-3.0	-3.6	-2.3	-3.4	-1.9	-2.1
S90	4.5	-3.1	-3.8	-2.4	-3.6	-1.9	-1.8
S91	4.4	-3.3	-3.6	-3.0	-3.9	-2.1	-2.0
S92	4.4	-2.6	-3.3	-2.3	-3.3	-1.8	-1.8
S93	4.6	-2.7	-3.6	-2.7	-3.3	-1.9	-2.0
R1	4.8	-2.4	-3.6	-2.5	-3.7	-2.1	-0.5
R2	4.9	-2.7	-3.8	-2.7	-3.7	-2.2	-0.8
R4	4.8	-2.9	-3.9	-5.4	-4.1	-2.2	-1.9
R5	4.8	-2.6	-4.2	-3.4	-4.2	-2.2	-3.0
R6	4.8	-2.7	-3.4	-2.7	-4.2	-2.3	-1.6
R7	4.8	-2.5	-4.2	-2.4	-3.6	-2.1	-1.6
R8	4.8	-2.4	-4.4	-2.7	-3.1	-2.1	-1.6
R9	4.7	-2.1	-3.5	-2.5	-3.5	-2.2	-1.2
R10	4.8	-2.2	-3.6	-2.4	-3.1	-2.1	-1.5
R11	4.7	-2.0	-3.7	-1.7	-2.5	-1.9	-0.9
R12	4.7	-2.2	-3.6	-2.0	-2.9	-2.0	-1.1
R13	5.1	-3.3	-4.2	-3.5	-3.9	-2.3	-2.2
R14	4.9	-3.6	-4.0	-7.6	-5.3	-2.8	-3.5

Anexo XXXII (Continuación)

Índice de geo-acumulación (Muller, 1979) en los sedimentos de la laguna de La Paz.

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
R15	4.8	-3.4	-3.9	-6.3	-4.8	-3.0	-3.6
R16	4.6	-1.9	-3.7	-2.2	-2.5	-2.1	-1.4
R17	4.5	-1.6	-3.4	-1.8	-2.1	-2.1	-1.0
R18	5.0	-1.5	-3.7	-1.7	-2.4	-2.0	-0.9
R19	4.6	-1.8	-3.3	-1.9	-2.4	-2.0	-1.0
R20	6.0	-1.0	-2.0	-1.5	-2.2	-1.3	-0.6
R21	4.6	-1.3	-3.3	-2.2	-2.6	-2.0	-1.4
R22	4.6	-1.0	-3.2	-1.9	-2.3	-2.0	-1.3
R23	4.4	-2.9	-3.4	-2.6	-3.2	-2.2	-1.5
R24	4.5	-3.1	-4.0	-2.6	-3.2	-2.3	-1.7
R25	4.5	-3.0	-4.1	-3.1	-3.1	-2.5	-1.9
Promedio	4.5	-2.5	-3.3	-2.7	-3.3	-2.1	-1.7
Desv. est.	0.3	0.9	0.9	1.2	0.9	0.3	1.0

Arroyos

Muestra	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
T1	4.9	0.6	-2.7	-0.2	-0.8	-0.9	-0.2
T2	4.5	-0.7	-3.2	-1.2	-2.0	-1.6	-1.0
T3	4.3	-1.7	-3.3	-2.1	-2.8	-1.7	-1.6
T4	4.2	-2.2	-3.7	-2.0	-2.9	-2.0	-1.4
T5	4.3	-2.3	-3.0	-2.4	-2.9	-2.1	-1.7
T6	4.2	-3.3	-3.9	-2.6	-2.8	-2.2	-1.9
T7	4.4	-1.0	-3.2	-1.5	-2.1	-1.7	-1.2
T8	4.0	-3.8	-4.0	-2.6	-3.4	-2.8	-2.2
T9	4.2	-4.4	-4.1	-3.4	-3.4	-2.3	-1.6
T10	3.9	-3.2	-4.4	-2.4	-3.3	-2.6	-1.0
T11	4.0	-4.9	-4.8	-3.0	-3.2	-2.6	-1.9
T12	4.4	-2.4	-3.0	-1.9	-2.0	-2.0	-1.1
T13	4.6	-2.6	-2.9	-2.7	-1.8	-1.8	-1.3
T14	4.5	-2.6	-1.4	-1.4	-1.6	-1.8	-1.1
T15	4.5	-2.0	-1.0	-1.1	-1.7	-1.5	-0.7
T16	4.1	-4.3	-3.3	-3.3	-3.5	-2.6	-2.5
Promedio	4.3	-2.5	-3.2	-2.1	-2.5	-2.0	-1.4
Desv. est.	0.3	1.5	1.0	0.9	0.8	0.5	0.6

Anexo XXXIII

Porcentaje de biodisponibilidad potencial con respecto a la concentración total de metales pesados en la laguna de La Paz, B. C. S.

Muestra	Cd-bio	Cu-bio	Fe-bio	Pb-bio	Zn-bio
S1	37.12	21.63	3.34	43.92	11.54
S2	29.02	12.05	12.36	18.54	11.18
S3	24.65	24.45	16.03	25.59	11.50
S4	35.96	11.87	6.49	16.72	9.93
S5	24.17	10.81	10.75	26.17	11.29
S6	22.08	10.47	9.21	18.60	7.52
S7	36.21	29.18	11.50	36.15	13.14
S8	23.03	12.60	15.32	30.51	12.72
S9	21.82	16.53	15.13	20.74	10.57
S10	22.97	14.50	14.47	21.77	14.19
S11	19.51	8.34	5.93	14.31	5.96
S12	36.59	25.26	12.71	43.05	10.72
S13	56.40	44.33	84.29	55.04	30.39
S14	19.39	15.33	12.38	51.01	7.48
S15	22.56	17.30	11.25	23.89	10.12
S16	23.29	12.33	12.10	18.82	7.22
S17	23.67	24.40	18.91	19.06	6.71
S18	62.14	32.94	84.76	58.46	21.03
S19	24.32	26.49	19.18	28.01	8.27
S20	18.51	19.63	16.93	21.26	7.45
S21	19.26	19.10	15.15	14.46	8.98
S22	44.19	42.87	23.62	40.92	12.03
S23	18.74	12.13	24.78	17.68	10.75
S24	20.74	12.38	21.05	8.56	7.50
S25	15.86	37.50	14.57	11.46	8.25
S26	17.13	12.68	17.27	11.34	5.81
S27	33.48	25.47	7.44	36.09	7.28
S28	30.94	22.73	11.61	30.86	8.33
S29	32.14	26.03	10.37	25.33	9.59
S31	29.91	28.10	7.53	32.97	8.36
S32	46.44	31.71	11.20	41.94	9.15
S33	26.14	88.45	20.77	10.84	9.24
S34	77.24	28.41	75.11	62.38	29.46
S35	73.99	32.26	39.86	49.59	20.09
S36	80.85	41.72	87.31	49.74	49.00
S37	43.72	43.85	18.64	84.50	26.05
V38	37.04	53.63	13.04	50.16	25.58
V39	13.39	36.62	18.44	57.93	23.96
V40	12.08	12.41	11.03	27.77	13.60
V41	22.02	84.74	14.80	22.40	20.01
V42	35.32	46.57	20.97	25.60	17.81
V43	25.80	28.06	10.88	26.27	7.12
V44	39.13	11.47	9.66	33.23	8.52
V45	60.64	36.23	45.23	76.24	14.73
V46	31.89	27.77	29.53	33.47	8.79
V47	38.39	41.31	18.15	31.49	9.71

Anexo XXXIII (Continuación)

Porcentaje de biodisponibilidad potencial con respecto a la concentración total de metales pesados en la laguna de La Paz, B. C. S.

Muestra	Cd-bio	Cu-bio	Fe-bio	Pb-bio	Zn-bio
V48	33.22	30.36	17.34	21.98	11.27
V49	43.86	36.85	24.81	31.75	11.61
V51	34.05	34.85	16.90	32.17	10.97
S52	68.52	34.11	35.92	87.61	16.36
S53	24.80	19.22	5.48	46.54	7.30
S54	31.04	26.37	5.93	66.11	8.91
S55	35.54	25.39	6.53	65.15	9.13
S56	39.75	31.51	9.63	53.71	13.65
S57	65.61	26.77	10.40	66.39	10.41
S59	18.50	23.27	7.77	40.15	7.76
S60	41.92	50.44	35.99	32.19	8.35
S61	26.22	19.18	5.57	49.42	6.80
S62	36.05	27.65	11.74	23.27	8.32
S63	33.84	25.68	13.41	67.98	8.49
S64	28.07	27.67	7.55	33.06	7.25
S66	35.12	22.29	5.40	51.32	8.77
S67	34.18	25.29	5.65	42.21	8.91
S68	64.07	38.42	52.80	55.54	24.12
S69	34.59	20.29	15.21	17.34	9.97
S71	34.98	67.45	52.17	68.41	85.78
S72	43.27	25.72	8.02	46.43	12.07
S73	48.62	25.11	7.91	51.44	10.96
S74	44.10	29.14	10.77	61.29	11.20
S75	35.26	37.42	14.02	53.92	11.95
S76	36.22	21.37	11.95	23.88	15.30
S80	75.13	67.11	90.05	88.76	90.19
S81	69.22	44.53	89.61	79.08	57.61
S82	54.67	28.43	89.61	57.28	17.92
S83	43.18	45.05	88.21	55.87	44.84
S84	65.74	40.23	90.93	91.96	22.63
S85	19.76	20.69	14.20	24.50	9.10
S86	71.55	48.35	20.31	68.24	62.80
S87	31.89	56.85	47.60	69.09	37.39
S88	14.10	33.57	19.58	24.18	17.52
S89	16.73	17.34	12.62	24.87	14.70
S90	22.86	21.15	13.45	23.03	11.60
S91	58.54	31.22	38.66	46.76	19.95
S92	21.33	16.61	12.53	37.20	13.93
S93	34.09	31.63	16.24	34.41	15.15
R1	64.96	91.03	27.78	47.24	47.77
R2	48.09	84.96	32.54	52.67	34.53
R4	62.07	55.51	90.37	40.34	33.32
R5	66.65	54.32	29.30	66.43	31.43
R6	50.63	44.11	34.52	41.29	31.94
R7	42.23	56.01	28.01	41.40	22.22
R8	30.18	22.01	34.37	31.13	15.41

Anexo XXXIII (Continuación)

Porcentaje de biodisponibilidad potencial con respecto a la concentración total de metales pesados en la laguna de La Paz, B. C. S.

Muestra	Cd-bio	Cu-bio	Fe-bio	Pb-bio	Zn-bio
R9	40.38	20.26	31.56	24.65	17.55
R10	37.47	12.23	27.52	24.17	16.97
R11	21.31	18.59	18.19	27.66	11.97
R12	36.98	32.61	23.24	30.54	23.66
R13	44.77	80.01	52.91	43.61	27.91
R14	69.81	75.90	96.67	59.74	45.62
R15	69.45	72.01	93.40	81.93	68.16
R16	23.52	21.74	25.67	43.58	18.67
R17	18.63	12.22	19.84	17.71	14.76
R18	14.51	13.92	17.72	28.30	10.67
R19	24.25	19.28	18.72	22.60	15.37
R20	9.50	7.07	13.60	16.76	7.01
R21	18.57	18.84	22.27	24.85	13.46
R22	35.95	16.95	18.81	36.87	13.54
R23	31.78	17.45	28.99	24.36	14.21
R24	27.83	26.90	28.46	29.11	12.32
R25	65.53	66.25	38.15	53.83	31.05
Promedio	37.02	31.83	26.48	39.73	18.07
Desv. est.	17.25	18.84	24.39	19.52	15.53

Arroyos

Muestra	Cd-bio	Cu-bio	Fe-bio	Pb-bio	Zn-bio
T1	21.43	14.74	2.92	14.65	5.32
T2	28.31	19.06	5.59	30.01	7.08
T3	22.08	18.17	10.50	20.88	9.49
T4	8.32	12.05	8.02	14.26	3.52
T5	27.65	17.75	10.27	18.59	6.05
T6	4.87	14.00	12.68	9.73	5.61
T7	18.47	15.52	6.56	19.56	4.88
T8	9.92	11.93	10.88	5.25	4.45
T9	12.62	15.21	19.36	11.79	3.83
T10	11.13	16.78	10.44	2.68	3.22
T11	3.92	30.39	15.89	15.94	11.75
T12	24.34	25.33	9.40	31.89	10.76
T13	15.55	30.59	16.73	35.16	13.13
T14	25.76	23.07	6.86	50.04	8.96
T15	22.89	24.25	5.85	63.29	14.80
T16	10.82	64.51	21.59	13.56	32.09
Promedio	16.75	22.08	10.85	22.33	9.06
Desv. est.	8.13	12.76	5.24	16.28	7.12

Anexo XXXIV

Análisis de componentes principales (cargas por muestra).

Estación	Componente 1	Componente 2	Componente 3
S1	1.12	-0.17	0.75
S2	-0.36	1.28	0.83
S3	0.10	1.00	0.03
S4	-1.76	1.95	3.32
S5	-0.64	1.53	1.17
S6	-1.01	1.59	1.06
S7	1.36	-0.13	0.59
S8	-0.31	1.37	-0.39
S9	-0.35	0.84	-0.02
S10	-0.30	0.50	0.43
S11	-2.83	1.97	3.78
S12	0.05	0.16	1.39
S13	1.46	-1.00	1.64
S14	-0.43	0.97	-0.10
S15	-0.45	0.87	0.21
S16	-0.42	1.05	0.44
S17	0.24	0.77	-0.35
S18	1.14	-0.02	-0.29
S19	0.25	0.66	-0.57
S20	0.00	0.70	-0.89
S21	0.15	0.82	-0.76
S22	0.48	0.33	-0.92
S23	0.46	0.72	-1.45
S24	0.04	0.78	-1.46
S25	-0.16	0.87	-0.79
S26	0.02	0.85	-1.25
S27	-1.47	-1.03	-0.70
S28	-0.43	-0.32	-0.46
S29	-0.54	0.17	-0.26
S32	-0.62	-0.71	0.04
S33	0.20	0.10	-0.34
S34	1.31	-0.91	0.47
S35	0.91	-0.96	0.50
V38	-0.33	-0.72	0.06
V39	0.44	0.87	-1.47
V40	0.10	0.56	-0.71
V41	-0.07	0.43	-0.62
V42	0.46	0.95	-0.78
V43	-0.43	1.29	0.41
V45	0.61	-0.11	0.29
V47	0.55	0.46	-0.88
V48	0.25	0.68	-0.82
V49	0.76	0.33	-0.62
S51	0.50	0.25	-0.89
S52	0.58	-1.10	0.26
S53	-2.25	-2.01	-0.90

Anexo XXXIV (Continuación)

Análisis de componentes principales (cargas por muestra).

Estación	Componente 1	Componente 2	Componente 3
S54	-2.03	-2.01	-0.90
S55	-1.69	-1.61	-0.93
S56	-0.60	-0.99	-0.44
S57	-0.87	-1.73	-0.42
S59	-1.21	-1.35	-0.75
S60	0.82	0.31	-0.46
S61	-2.35	-1.90	-0.67
S62	-0.34	0.65	-0.90
S63	-1.87	-1.71	-0.40
S64	-1.42	-0.36	-0.38
S66	-2.38	-1.51	-0.88
S67	-2.00	-1.86	-0.55
S68	0.95	0.00	0.49
S69	-0.18	1.17	-1.01
S70	0.15	0.65	-0.16
S71	1.00	0.90	-1.01
S72	-1.11	-0.99	-0.40
S73	-1.13	-1.24	-0.10
S74	-0.32	-0.43	-0.09
S75	0.19	0.95	-0.88
S76	-0.02	0.76	-0.92
S80	1.90	-0.67	0.36
S81	1.38	-0.18	0.15
S82	1.16	-0.14	-0.60
S83	1.17	0.38	-0.76
S84	1.52	-0.36	-0.39
S85	0.03	1.08	-1.00
S86	1.69	-1.16	0.95
S87	0.96	0.32	-0.65
S88	0.32	0.99	-1.11
S89	-0.05	0.94	-0.84
S90	-0.02	0.83	-0.46
S91	0.64	-0.89	0.03
S92	-0.33	0.04	-0.71
S93	0.16	-0.47	0.23
R1	0.43	-1.63	1.52
R2	0.61	-1.56	1.39
R4	1.13	-1.39	1.34
R5	1.29	-1.72	1.29
R6	0.73	-1.86	1.12
R7	0.38	-0.84	0.47
R8	0.36	-0.22	0.15
R9	0.17	-0.38	0.43
R10	0.00	-0.25	0.40
R11	-0.54	-0.52	0.42
R12	-0.13	-0.61	0.55

Anexo XXXIV (Continuación)

Análisis de componentes principales (cargas por muestra).

Estación	Componente 1	Componente 2	Componente 3
R13	1.31	-0.95	1.66
R14	2.05	-1.15	1.23
R15	2.05	-0.78	0.83
R16	-0.12	0.83	-0.11
R17	-0.34	0.30	0.71
R18	-0.43	0.67	0.78
R19	-0.49	0.73	-0.19
R20	-1.67	1.39	4.31
R21	-0.32	1.12	-0.09
R22	-0.44	0.97	0.36
R23	0.17	0.50	-0.64
R24	0.35	0.55	-0.54
R25	0.94	-0.07	0.20