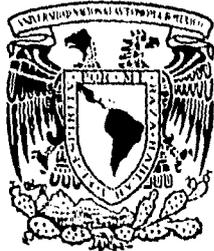


03066

1
29



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

Colegio de Ciencias y Humanidades
Unidad Académica de los Ciclos
Profesional y de Posgrado

**"GEOQUIMICA DE SEDIMENTOS DE LA LAGUNA COSTERA
SUBTROPICAL ALTATA - ENSENADA DEL PABELLON,
SINALOA, MEXICO"**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR**

(OCEANOGRAFIA GEOLOGICA)

P R E S E N T A:

CARLOS RENE GREEN RUIZ

ABESOR: DR. FEDERICO PAEZ OSUNA

Mazatlán, Sin.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

Este trabajo se realizó bajo la dirección del Dr. Federico Páez Osuna, en el Laboratorio de Química Marina, de la Estación Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, con el apoyo financiero de Petróleos Mexicanos y del Instituto Nacional de la Pesca.

ACLARACION

La información de tipo científica y los datos originales generados en el presente trabajo de tesis pertenecen en su totalidad al autor del mismo, por lo que la utilización y reproducción parcial o total requiere autorización previa del autor.

CON CARINO A MIS PADRES
OSCAR Y MARIA DE JESUS
POR SU LEGADO

CON TODO MI AMOR A
LEONOR, DAVID ENRIQUE Y DANIEL
PORQUE SON EL PILAR DE MI SUPERACION

A MIS FAMILIAS
GREEN RUIZ Y TRIPP QUEZADA
POR ALENTARME CONTINUAMENTE

CARLOS RENE

INDICE

1. INTRODUCCION	1
Objetivo general	5
Objetivos particulares	6
2. ANTECEDENTES	7
2.1. Generalidades del área de estudio	7
2.2. Investigaciones realizadas en el área de estudio	12
3. METODOLOGIA	14
3.1. Muestreo	14
3.2. Análisis físico-químicos	16
3.3. Análisis granulométrico	18
3.4. Análisis geoquímicos	19
3.5. Procesamiento de los datos	25
4. RESULTADOS Y DISCUSION	28
4.1. Análisis físico-químicos	28
4.2. Análisis granulométrico	46
4.3. Análisis geoquímicos	49
Metales pesados totales	54
Biodisponibilidad potencial	113
4.4. Factor de enriquecimiento e índice de geo-acumulación	141

5. CONCLUSIONES	145
6. RECOMENDACIONES	149
7. AGRADECIMIENTOS	150
8. BIBLIOGRAFIA	152
ANEXOS	164
Anexo I	165
Anexo II	167
Anexo III	171
Anexo IV	174
Anexo V	176
Anexo VI	178
Anexo VII	180
Anexo VIII	182

INDICE DE FIGURAS

2.1 Localización y toponimia del área de estudio	8
2.2 Ubicación de las estaciones Humaya y Tamazula, prospectos mineros e hidrología	10
3.1 Localización de las estaciones de muestreo	15
3.2 Metodología para la determinación del tamaño de los sedimentos	20
3.3 Determinación del carbono orgánico	22
3.4 Determinación de metales pesados fracción biodisponible	24
3.5 Determinación de metales pesados fracción total	24
4.1 Distribución de oxígeno disuelto	29
4.2 Distribución de salinidad	45
4.3 Distribución del tamaño medio del sedimento	47
4.4 Distribución de carbono orgánico	50
4.5 Regresión lineal entre tamaño medio del sedimento y carbono orgánico	51
4.6 Distribución de carbonato de calcio	53
4.7 Distribución de plata total	59
4.8 Regresión lineal entre tamaño medio del sedimento y plata total	60
4.9 Regresión lineal entre plata total y a) aluminio total y b) litio total	62
4.10 Distribución de aluminio total	64
4.11 Regresión lineal entre aluminio total y a) tamaño medio del sedimento y b) litio total	66

4.12 Distribución de cadmio total	68
4.13 Distribución de cobalto total	70
4.14 Regresión lineal entre cobalto total y a) tamaño medio del sedimento y b) carbono orgánico	72
4.15 Regresión lineal entre cobalto total y a) aluminio total y b) litio total	73
4.16 Distribución de cromo total	74
4.17 Regresión lineal entre cromo total y a) tamaño medio del sedimento y b) cobre total	76
4.18 Regresión lineal entre cromo total y a) aluminio total y b) litio total	77
4.19 Distribución de cobre total	80
4.20 Regresión lineal entre cobre total y a) tamaño medio del sedimento y b) zinc total	81
4.21 Regresión lineal entre cobre total y a) aluminio total y b) litio total	83
4.22 Distribución de hierro total	85
4.23 Regresión lineal entre tamaño medio del sedimento y hierro total	86
4.24 Regresión lineal entre hierro total y a) aluminio total y b) litio total	87
4.25 Distribución de litio total	89
4.26 Regresión lineal entre tamaño medio del sedimento y litio total	90
4.27 Distribución de manganeso total	92
4.28 Regresión lineal entre manganeso total y a) tamaño medio del sedimento y b) manganeso biodisponible	94

4.29 Regresión lineal entre manganeso total y a) aluminio total y b) litio total	95
4.30 Distribución de níquel total	97
4.31 Regresión lineal entre níquel total y a) aluminio total y b) litio total	99
4.32 Distribución de plomo total	101
4.33 Regresión lineal entre plomo total y a) aluminio total y b) litio total	103
4.34 Distribución de vanadio total	105
4.35 Regresión lineal entre vanadio total y a) tamaño medio del sedimento y b) carbono orgánico	107
4.36 Regresión lineal entre vanadio total y a) aluminio total y b) litio total	108
4.37 Distribución de zinc total	109
4.38 Regresión lineal entre zinc total y a) tamaño medio del sedimento y b) carbono orgánico	111
4.39 Regresión lineal entre zinc total y a) aluminio total y b) litio total	112
4.40 Distribución de cadmio biodisponible	115
4.41 Regresión lineal entre cadmio biodisponible y a) carbonato de calcio y b) cobalto biodisponible	117
4.42 Distribución de cobalto biodisponible	119
4.43 Regresión lineal entre a) cobalto biodisponible y carbonato de calcio y b) cromo y níquel biodisponibles	121
4.44 Distribución de cromo biodisponible	122
4.45 Distribución de cobre biodisponible	125
4.46 Regresión lineal entre cobre biodisponible y a) tamaño medio del sedimento y b) carbonato de calcio	126

4.47 Distribución de hierro biodisponible	128
4.48 Distribución de manganeso biodisponible	131
4.49 Distribución de níquel biodisponible	133
4.50 Regresión lineal entre níquel biodisponible y carbonato de calcio	135
4.51 Distribución de plomo biodisponible	136
4.52 Distribución de zinc biodisponible	139
4.53 Regresión lineal entre zinc biodisponible y a) tamaño medio del sedimento y b) carbono orgánico	140

INDICE DE TABLAS

1.1. Empleo de metales pesados en las principales industrias	2
1.2. Intervalos típicos de concentraciones de metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y abono orgánico	3
3.1. Clasificación de ambientes sedimentarios en base a la concentración de O ₂	17
3.2. Grupos halinos	18
3.3. Parámetros estadístico-texturales	21
3.4. Intensidad de la contaminación	27
4.1. Matriz de coeficientes de correlación entre los parámetros	30
4.2. Media y desviación estándar del O ₂ , salinidad, carbono orgánico y carbonatos según ambientes sedimentarios	32
4.3. Media y desviación estándar de los metales pesados totales según ambientes sedimentarios	33
4.4. Media y desviación estándar de los metales pesados biodisponibles según ambientes sedimentarios	34
4.5. Media y desviación estándar del O ₂ , salinidad, carbono orgánico y carbonatos de acuerdo con los grupos halinos	35
4.6. Media y desviación estándar de los metales pesados totales de acuerdo con los grupos halinos	36
4.7. Media y desviación estándar de los metales pesados biodisponibles de acuerdo con los grupos halinos	37
4.8. Media y desviación estándar del O ₂ , salinidad, carbono orgánico y carbonatos en las diferentes regiones del área de estudio	38
4.9. Media y desviación estándar de los metales pesados totales en las diferentes regiones del área de estudio	39

4.10. Media y desviación estándar de los metales pesados biodisponibles en las diferentes regiones del área de estudio	40
4.11. Media y desviación estándar del O ₂ , salinidad, carbono orgánico y carbonatos de acuerdo con la existencia de manglar	41
4.12. Media y desviación estándar de los metales pesados totales de acuerdo con la existencia de manglar	42
4.13. Media y desviación estándar de los metales pesados biodisponibles de acuerdo con la existencia de manglar	43
4.14. Concentraciones de metales pesados totales en diversos cuerpos de agua nacionales	56
4.15. Concentraciones de metales pesados totales en diversos cuerpos de agua internacionales	57
4.16. Concentraciones de metales pesados biodisponibles en diversos cuerpos de agua	116

RESUMEN

Con el objeto de comprender el comportamiento de la laguna costera subtropical Altata-Ensenada del Pabellón, Sin., como una cuenca receptora de descargas municipales, industriales y agrícolas, con relación a la posible contaminación por metales pesados aportados por las actividades antropogénicas que se llevan a cabo en la cuenca de drenaje, se colectaron 59 muestras de agua de fondo y 77 de sedimento en dicho sistema lagunar, cuantificándoles a las primeras su salinidad ($25.85 \pm 7.45 \%$) y su contenido de oxígeno disuelto ($5.95 \pm 1.59 \text{ mg/l}$), en tanto que a los segundos se les determinó las concentraciones totales de Ag ($3.83 \pm 1.14 \text{ ppm}$), Al ($4.55 \pm 2.14 \%$), Cd ($0.45 \pm 0.40 \text{ ppm}$), Co ($17.43 \pm 5.45 \text{ ppm}$), Cr ($15.73 \pm 3.92 \text{ ppm}$), Cu ($29.29 \pm 15.51 \text{ ppm}$), Fe ($5.42 \pm 2.24 \%$), Li ($19.08 \pm 9.60 \text{ ppm}$), Mn ($925 \pm 1127 \text{ ppm}$), Ni ($14.73 \pm 8.00 \text{ ppm}$), Pb ($120.97 \pm 56.71 \text{ ppm}$), V ($34.56 \pm 10.43 \text{ ppm}$), y Zn ($80.49 \pm 40.01 \text{ ppm}$); así como el contenido de metales pesados en la fracción biodisponible de Cd ($0.36 \pm 0.37 \text{ ppm}$), Co ($2.08 \pm 1.60 \text{ ppm}$), Cu ($1.75 \pm 1.05 \text{ ppm}$), Cr ($0.88 \pm 0.93 \text{ ppm}$), Fe ($478 \pm 342 \text{ ppm}$), Mn ($309 \pm 670 \text{ ppm}$), Ni ($2.59 \pm 2.14 \text{ ppm}$), Pb ($27.22 \pm 16.35 \text{ ppm}$), Zn ($4.61 \pm 3.25 \text{ ppm}$); además del contenido de carbono orgánico ($1.52 \pm 1.51 \%$), de carbonato de calcio ($5.88 \pm 9.46 \%$) y la textura granulométrica.

Asimismo se colectaron 2 muestras de sedimento, aguas arriba del río Culiacán, en las salidas de las presas Adolfo López Mateos y Sanalona, respectivamente, determinándoseles las concentraciones totales de los metales arriba mencionados, con la finalidad de utilizar estos valores como referencia para el cálculo de factores de enriquecimiento e índice de geo-acumulación.

Los valores más altos de metales tanto en su contenido total como en la fracción biodisponible se presentaron en la Ensenada del Pabellón, como producto del aporte de material de los campos agrícolas hacia la ensenada, además de las condiciones hidrodinámicas, físico-químicas y granulométricas de esta región (baja energía, salinidades intermedias, altos contenidos de carbono orgánico y sedimentos finos). Las altas concentraciones de metales pesados están asociadas con sedimento fino y elevado contenido de carbono orgánico, debido a la capacidad de las arcillas y el material orgánico de adsorber los metales, asimismo se observó que el contenido de oxígeno disuelto y la salinidad en el agua que suprayace los sedimentos, juega un papel importante en los procesos de adsorción.

Con respecto al aluminio y litio, sólo la plata y el plomo tuvieron factores de enriquecimiento e índice de geo-acumulación mayores al aluminio y litio. El plomo con mayores factores de enriquecimiento e índice de geo-acumulación presentó una biodisponibilidad potencial intermedia, en tanto que el cadmio con mayor biodisponibilidad mostró el menor índice de geo-acumulación y se encuentra entre los tres menores con relación a los factores de enriquecimiento. De acuerdo al índice de geo-acumulación los sedimentos de este sistema lagunar están en el intervalo entre no contaminados y moderadamente contaminados con plomo, plata, aluminio, cobre, hierro, litio, cobalto y manganeso y clasificados como no contaminados con zinc, níquel, cromo, vanadio y cadmio.

El litio funcionó mejor que el aluminio como elemento conservativo para normalizar las concentraciones de los metales pesados, para el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, considerando el análisis de correlación entre los diferentes metales pesados totales versus aluminio y litio.

1. INTRODUCCION

Los Estados Unidos Mexicanos poseen aproximadamente 11 500 km de litorales, en los cuales existen 137 lagunas costeras que abarcan más de 12 500 km² (Instituto Nacional de la Pesca, 1994; Poder Ejecutivo Federal, 1996), jugando 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 entender su naturaleza, dinámica e historia.

Las lagunas costeras son ecosistemas abiertos que representan la interacción entre procesos continentales y marinos, caracterizándose por la transferencia de material terrígeno derivado del intemperismo y erosión hacia el sistema acuático (Thomas y Frank, 1987; González-Farías y Hernández-Garza, 1989), siendo, asimismo, fuertemente influenciadas por las actividades antropogénicas. Lo anterior hace que estos cuerpos de agua actúen como trampas de algunos contaminantes, como en el caso de los metales pesados.

Los asentamientos humanos, aunados a ciertas actividades de desarrollo como la agricultura, el turismo, la pesca, el transporte acuático y la minería, generan contaminantes que son vertidos a estos cuerpos de agua, dañando la calidad de los recursos marinos e imponiendo riesgos significativos de salud ambiental, e incluso humana.

De manera general, podemos definir a los metales pesados como aquellos elementos químicos que, de acuerdo con la tabla periódica, corresponden a los periodos 4o., 5o. y 6o. de los grupos IIIA y IVA, cuya densidad se aproxima a 5 g/cm³ (Forstner y Wittmann, 1979).

Alloway (1990) menciona que, por su composición, los fertilizantes y pesticidas agrícolas son considerados como grandes fuentes de metales pesados en suelos (Tabla 1.2). Dichos suelos son erosionados y acarreados hacia las cuencas receptoras, donde son adsorbidos por el material particulado, principalmente materia orgánica y sedimentos. Dependiendo, en gran medida, de las fracciones geoquímicas con las que los metales pesados estén asociados en el medio ambiente, se pueden generar los procesos de biodisponibilidad y reciclamiento de estos elementos (Abu-Hilal, 1993).

Tabla 1.2.- Intervalos típicos de concentraciones de metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y abono orgánico, resumido de Alloway (1990). Unidades en mg/kg (ppm).

	Fertilizantes fosfatados	Fertilizantes con Nitrógeno	Abono orgánico
Cd	0.1 - 170	0.05 - 8.5	0.1 - 0.8
Co	1 - 12	5.4 - 12	0.3 - 24
Cr	66 - 245	3.2 - 19	1.1 - 55
Cu	1 - 300	-----	2 - 172
Mn	40 - 2000	-----	30 - 969
Ni	7 - 38	7 - 34	2.1 - 30
Pb	7 - 225	2 - 27	1.1 - 27
V	2 - 1600	-----	-----
Zn	50 - 1450	1 - 42	15 - 566

La evaluación de estos elementos en sedimentos puede jugar un papel clave en la detección de fuentes contaminantes en sistemas acuáticos, aún cuando estos análisis no reflejen el grado de toxicidad. Además, bajo condiciones favorables, los aportes pueden ser detectados tiempo después de que el vertimiento haya sido efectuado, determinando su evolución a través de núcleos sedimentarios.

El contenido de carbonatos en los sedimentos se deben a agentes químicos y biológicos, sugiriendo su relación con aguas de alta concentración de este ión y con organismos con exo o endoesqueletos calcáreos.

La importancia del carbono orgánico en la distribución de organismos bentónicos ha sido enfatizada por varios autores (Bader, 1954 y 1962 ; Stuardo y Villarroel, 1976; González-Farías y Hernández-Garza, *op. cit.*). Es además fuente de energía para el sistema, siendo los agentes biológicos los principales factores en los cambios diagenéticos de éste (Green-Ruiz y Larrinaga-Cunningham, 1986). Algunos materiales orgánicos, tales como el ácido húmico, adsorben 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. Las constantes de solubilidad de los quelatos con los metales tienden a presentar el orden decreciente $Cu > Fe = Al > Mn = Co > Zn$ (Alloway, 1990).

El tamaño de las partículas del sedimento y su distribución están principalmente influenciados por los procesos físicos que actúan durante el transporte y la deposición. En relación con los metales pesados, se ha observado un incremento general de la concentración de estos conforme disminuye el tamaño de la partícula.

Sin embargo se observa un incremento de las concentraciones en sedimentos de la fracción $> 62 \mu\text{m}$ que es 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 (Forstner y Wittmann, 1979).

Las arcillas en los suelos adsorben tanto elementos mayoritarios como "traza", los cuales se presentan en forma natural o mediante la fertilización de los campos agrícolas; posteriormente estos elementos son incorporados por las plantas mediante la de/adsorción desde las arcillas (Jackson y Lim, 1981). Las arcillas son removidas debido a la erosión de los suelos y transportadas hacia las cuencas receptoras.

Con la finalidad de corregir los efectos provocados por la variabilidad granulométrica de los sedimentos sobre las concentraciones de metales pesados, se ha sugerido la normalización tomando como base elementos de referencia "conservativos", tal es el caso del Al (Carruesco y Lapaquellerie, 1985; Schropp *et al.*, 1990; Din, 1992), Li (Loring, 1990), Fe y Zn (Hornung *et al.*, 1989), Sc y Cs (Ackermann, 1980).

Objetivo general

Comprender el comportamiento de la laguna costera subtropical Allata-Ensenada del Pabellón, Sin., como una cuenca receptora de descargas municipales, industriales y agrícolas, con relación a la posible contaminación por metales pesados aportados por las actividades antropogénicas que se llevan a cabo en la cuenca de drenaje.

Objetivos particulares

- Determinar las concentraciones totales y biodisponibles de metales pesados (Ag, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, V y Zn), así como su distribución, en los sedimentos de dicha laguna.
- Relacionar el comportamiento de dichos contaminantes con parámetros como la granulometría, contenido de materia orgánica, carbonato de calcio en sedimentos y el oxígeno disuelto y salinidad del agua inmediata suprayacente del lecho sedimentario.
- Conocer la relación existente entre las concentraciones totales de los metales pesados y la fracción biodisponible de los mismos.
- Conocer los factores de enriquecimiento de los metales pesados para las diferentes zonas dentro del sistema lagunar y conocer las fuentes de aporte de los mismos.
- Comparar los niveles de concentración de metales pesados del sistema lagunar sujeto de estudio, en relación a otros cuerpos de agua mexicanos y del mundo.

2. ANTECEDENTES

2.1 Generalidades del área de estudio

2.1.1 Localización:

El sistema lagunar Bahía de Altata-Ensenada del Pabellón se localiza en la región central del litoral del Estado de Sinaloa, México, entre los paralelos 24° 20' y 24° 40' latitud Norte y los meridianos 107° 30' y 107° 58' longitud Oeste, aproximadamente a 45 km al suroeste de la ciudad de Culiacán, capital del estado (Fig. 2.1).

2.1.2 Clima:

El área de estudio está ubicada dentro de una zona semiárida con régimen de lluvias en verano y una precipitación anual promedio de 472 mm; los vientos que predominan provienen del W y WNW durante el invierno y W y WSW en el verano (Garcla, 1973).

2.1.3 Marco geológico y fisiografía:

Este sistema lagunar se sitúa en la provincia geológica de la Planicie Costera del Pacífico (López-Ramos, 1980), en la cual se observan una serie de lagunas costeras entre la desembocadura del río Yaqui en Sonora y el poblado de San Blas. Nayarit (Peraza-Vizcarra, 1973), en la región del área de estudio dicha planicie tiene una longitud de aproximadamente 60 km.

Según Carranza-Edwards *et al.* (1975), la zona de estudio se localiza en la Unidad Costera VII clasificándola tectónicamente, de acuerdo con Inman y Nordstrom (1971), como una Costa de Arrastre de Neoeje (2a), y geomorfológica y

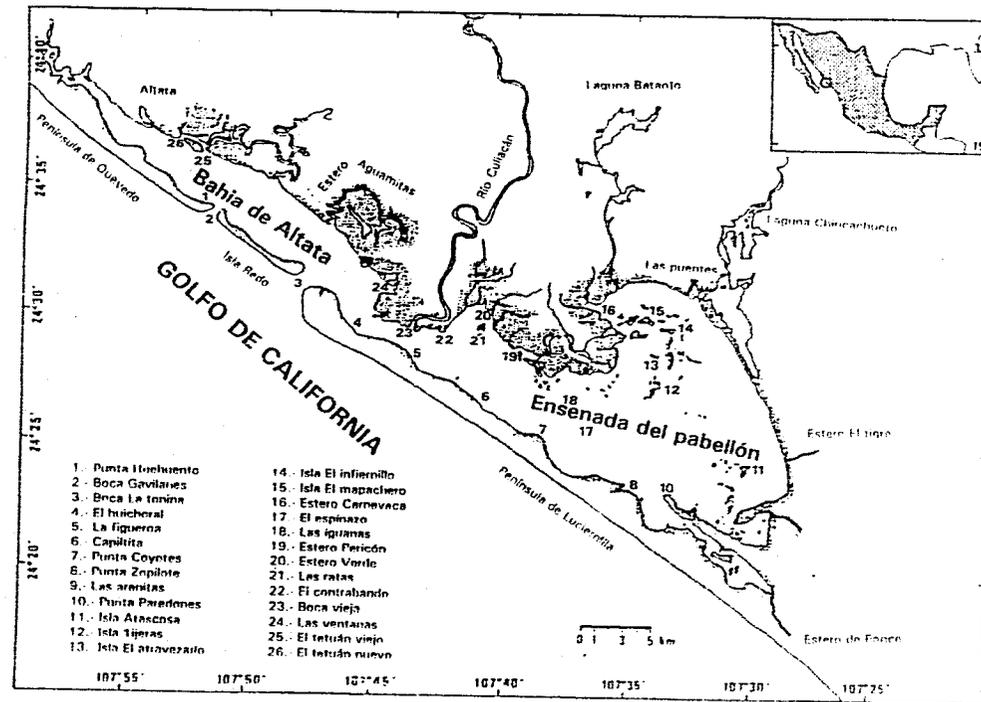


Figura 2.1.- Localización y toponimia del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

genéticamente (Shepard, 1973), como Costa Primaria, por depositación subaérea, depositación de ríos, costa de complejo deltaico (1B1b).

Lankford (1977), se refiere al complejo lagunar en cuestión, como Ensenada del Pabellón y menciona que es una laguna costera de barrera con plataforma interior, siendo la barrera tipo Gilbert-de Beaumont (III-A).

Los sedimentos terrigenos de este sistema lagunar principalmente provienen de rocas ígneas ácidas intrusivas y extrusivas de edades que varían desde el Cretácico al Terciario de la Sierra Madre Occidental, existiendo algunas capas calcáreas cerca de la presa Sanalona (Instituto de Geología, 1978). Se reportaron los siguientes prospectos mineros en la cuenca del río Culiacán (Fig. 2.2):

Nombre del prospecto	Elemento o mineral explotado	Localización
El Canario	Caliza	24° 48' N, 107° 10' W
El Chichi	Ag, Au, Pb	24° 43' N, 107° 24' W
El Escobal	Ag, Au	25° 07' N, 107° 20' W
El Talayote	Ag, Au	24° 40' N, 107° 17' W
Guajolotes de Arriba	Ag, Malaquita, Azurita	25° 32' N, 107° 29' W
Lechuguilla	Fe	25° 00' N, 107° 19' W
Los Esmeriles	Pirita, Calcopirita	25° 33' N, 107° 20' W
Otatillos	Au, Cu	25° 24' N, 107° 21' W
Salado	Cu	24° 30' N, 107° 09' W
Tameapa	Cu, W	25° 22' N, 107° 34' W
Varita	Fe	24° 38' N, 107° 07' W

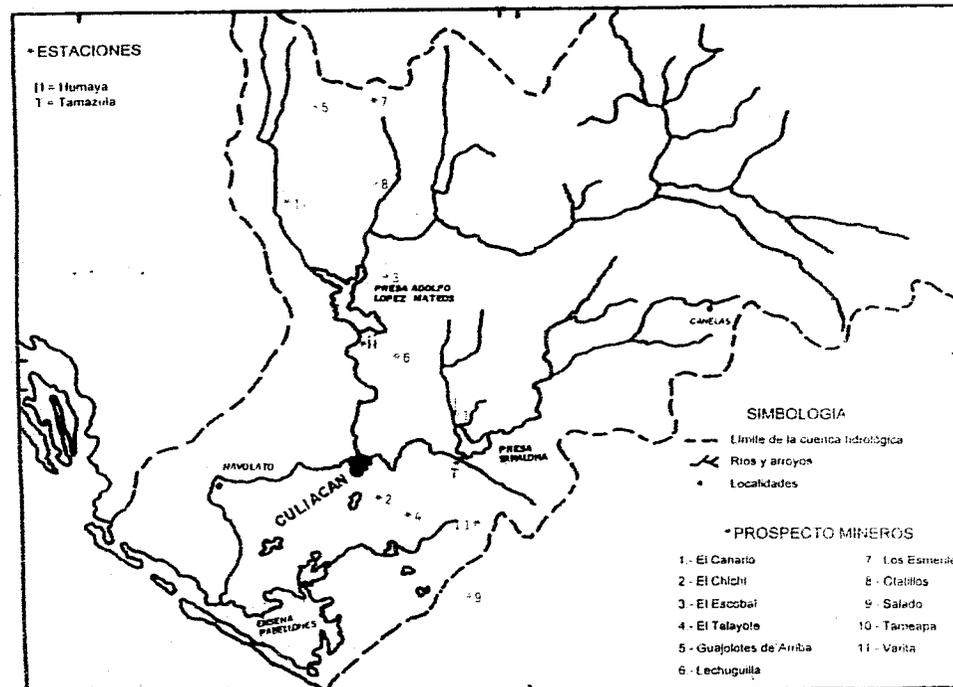


Figura 2.2.- Ubicación de las estaciones de muestreo Humaya y Tamazula, prospectos mineros e hidrología de la cuenca del río Culiacán.

El sistema lagunar Bahía de Altata-Ensenada del Pabellón comprende dos cuerpos de agua comunicados entre sí a la altura de la desembocadura del Río Culiacán. Tiene una superficie aproximadamente de 350 km², de los cuales, 280 pertenecen a la Ensenada del Pabellón y 80 a la Bahía de Altata (Secretaría de Industria y Comercio, inédito). La comunicación con el mar es a través de las bocas Tonina, en el extremo sureste de la Bahía de Altata, y Gavilán, aproximadamente 8 km al noroeste (Fig. 2.1).

2.1.5 Sistema hidrológico:

Las aguas originadas en la Sierra Madre Occidental drenan hacia el suroeste conformando la vertiente del Pacífico, siendo el río Culiacán el principal aporte de sedimentos terrígenos hacia el complejo lagunar en estudio (Fig. 2.2).

La cuenca de captación de este río es de aproximadamente 17 700 km², de los cuales corresponden 12 900 km² al río Humaya, 3 800 km² al Tamazula (sus dos principales tributarios) y, finalmente, 1 000 km² a la porción aguas abajo de la Ciudad de Culiacán (Instituto de Geología, 1978). De acuerdo con el Poder Ejecutivo Federal (1996), dicha cuenca es considerada como una de las 15 más contaminadas del país, principalmente por la descarga de plaguicidas y fertilizantes.

En lo referente al río Tamazula, a partir de 1948 comenzó a funcionar la Presa La Sanalona, con una capacidad de almacenamiento de 845 millones de m³ con la finalidad de generar energía eléctrica, abastecer agua para riego y controlar avenidas. En tanto que, con la idea de cumplir los mismos objetivos, en 1964

empezó a operar la Presa Adolfo López Mateos en el cauce del río Humaya, con una capacidad de almacenamiento de 3 200 millones de m³.

2.1.4 Actividad antropogénica:

Existen diversas comunidades asentadas alrededor de la zona de estudio, cuya actividad principal es la explotación de camarón y ostión, en tanto que en los terrenos circundantes se practica de forma intensiva la agricultura de hortalizas: tomate, chile y pepino; así como, soya, cartamo, caña y arroz (Paéz-Osuna *et al.*, 1991), además existen los ingenios azucareros Antonio Rosales en Costa Rica y La Primavera en Navolato, cuyas descargas, aunadas a las de la ciudad de Culiacán y pequeños poblados son vertidos hacia el sistema lagunar de manera directa mediante drenes, las lagunas interiores y los esteros, además del río Culiacán.

2.2 Investigaciones realizadas en el área de estudio

Por las características particulares tanto ecológicas como de actividades humanas, del sistema lagunar Bahía de Altata - Ensenada del Pabellón, este cuerpo de agua a cobrado interés desde el punto de la investigación científica, por lo que diversos estudios se han llevado a cabo con la finalidad de conocer mejor su comportamiento. Entre los más sobresalientes se encuentra el realizado por Peraza-Vizcarra (1973), en el que efectuó determinaciones de las características hidrográficas, así como la distribución de los sedimentos en este cuerpo de agua.

Gómez-Noguera (1993), estudió las relaciones entre la fauna meiobentónica y los factores ambientales (temperatura, salinidad, distribución de los sedimentos, etc.),

en tanto que Salgado-Barragán (1993) caracterizó las comunidades de macromoluscos y crustáceos decápodos de este sistema lagunar, considerando aspectos como la composición, taxonomía, diversidad, abundancia y distribución de las especies.

Debido a que el sistema lagunar Bahía de Altata - Ensenada del Pabellón es una cuenca de drenaje que recibe las escorrentías de una zona con agricultura intensiva y que, los pesticidas organofosforados destacaron entre los principales agroquímicos empleados durante 1987-88 (International Atomic Energy Agency, 1990), Páez-Osuna *et al.* (1991) llevaron a cabo investigaciones sobre el comportamiento del carbono y el fósforo en los sedimentos.

Además de los pesticidas mencionados, en ese mismo período fue considerable la utilización de fungicidas metálicos (International Atomic Energy Agency, *op. cit.*), incluyendo maneb, zineb y cupravít, los cuales están enriquecidos con manganeso, zinc y cobre; por tal motivo, se han efectuado investigaciones en el área de estudio, acerca de las concentraciones de metales pesados en organismos estuarinos tales como ostiones (Páez-Osuna *et al.*, 1993a), almejas (Páez-Osuna *et al.*, 1993b), y mejillones (Páez-Osuna *et al.*, 1994).

3. METODOLOGIA

3.1 Muestreo

Se realizaron 2 salidas al campo para obtener el material analizado en este estudio, la primera en marzo de 1991, en la cual se obtuvieron 50 muestras del interior del Sistema Lagunar Altata - Ensenada del Pabellón, además de 10 muestras periféricas ubicadas de la siguiente forma: dos en el estero De Ponce localizado en el extremo sur de Ensenada del Pabellón, otras dos en el estero que comunica el cuerpo de agua interior denominado Chiricahueto con el sistema lagunar principal. En la conexión entre la Ensenada del Pabellón y Bataoto, denominada El Esterón, se colectaron dos muestras con una distancia entre ellas de aproximadamente 2 m, una de ellas en la orilla del estero y la otra sobre el lecho; dos más fueron obtenidas aguas arriba del río Culliacán y las últimas dos en el interior del estero denominado Las Aguamitas.

En la segunda salida, en septiembre del mismo año, se colectaron 17 muestras más, todas ellas en el interior del cuerpo lagunar y dispuestas de tal manera que se pudiera complementar una red de estaciones representativa del área de estudio (Fig. 3.1). La distancia entre dos muestras osciló entre 1 y 6.5 km aproximadamente, a excepción de las dos estaciones de muestreo ubicadas en El Esterón.

El muestreo se efectuó a bordo de una lancha de 21 pies de eslora y motor fuera de borda, en cada estación, por buceo libre mediante una draga de caja. Una vez colectada cada muestra de sedimento, se transportó sobre hielo (4 - 8 °C) y luego en el laboratorio se preservó congelada hasta efectuar los análisis correspondientes. Asimismo, en las primeras 60 estaciones se colectó una muestra de agua de fondo empleando una botella tipo Niskin horizontal, realizando

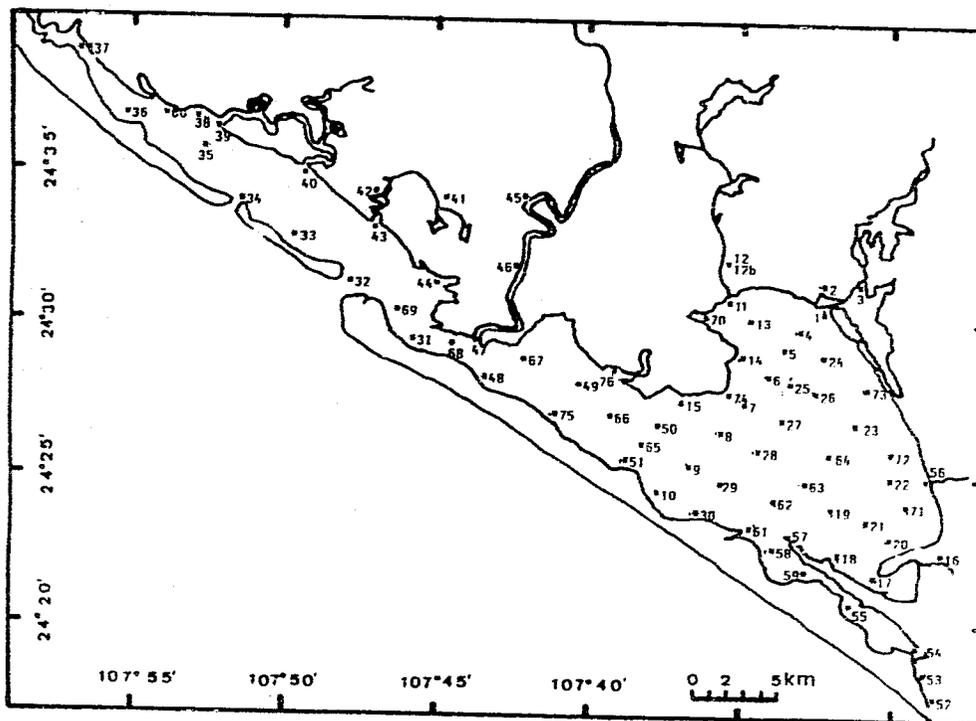


Figura 3.1. Localización de estaciones de muestreo en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón

inmediatamente la fijación de oxígeno para el análisis posterior de contenido de este gas y guardándose agua en una botella de vidrio hermética para cuantificar, posteriormente, la salinidad en el laboratorio.

Adicionalmente, se colectaron 2 muestras de sedimentos, aguas arriba del Río Culiacán, correspondiendo a cada salida de las presas Adolfo López Mateos y Sanaiona y fueron utilizadas como referencia de las concentraciones naturales de los metales pesados (Fig. 2.2).

3.2 Análisis físico-químicos

A las muestras de agua que se obtuvieron se les determinó, el mismo día, el contenido de oxígeno disuelto, mediante el método microWinkler propuesto por Riley y Chester (1989), añadiendo inmediatamente al tomar la muestra, 1 ml de solución de sulfato manganoso y otro ml de solución de yoduro alcalino, para la fijación del oxígeno; posteriormente, en el campamento se añadió 1 ml de ácido sulfúrico concentrado y se tituló con tiosulfato de sodio, mediante una microbureta.

Las estaciones se agruparon de acuerdo a su contenido de oxígeno disuelto, utilizando la clasificación geoquímica de ambientes sedimentarios, propuesta por Berner (1981) y modificada en este trabajo en lo que respeta al ambiente I Oxico, como se describe en la Tabla 3.1.

La salinidad se determinó cuantificándose la relación de conductividad (t), mediante un salinómetro de inducción marca Beckman modelo RS9, aplicando las correcciones por temperatura y desviación del aparato correspondientes. Posteriormente se procedió a agrupar las estaciones de muestreo de acuerdo a la clasificación sugerida por Wilson (1994) (Tabla 3.2).

Tabla 3.1.- Clasificación de ambientes sedimentarios en base a la concentración de O_2 , propuesta por Berner (1981). (* =subdivisiones propuestas en este trabajo).

Ambiente	Fases características
<p>I. Oxico ($O_2 \geq 10^{-6} M$)</p> <p>*A. Supraóxico ($O_2 \geq 2 \times 10^{-4} M$)</p> <p>*B. Oxico ($2 \times 10^{-4} M > O_2 > 10^{-4} M$)</p> <p>*C. Subóxico ($10^{-4} M > O_2 \geq 10^{-6} M$)</p>	<p>Hematita, goetita, óxidos de manganeso, relativamente poca materia orgánica.</p>
<p>II. Anóxico ($O_2 < 10^{-6} M$)</p> <p>A. Sulfídico ($H_2S \geq 10^{-6} M$)</p> <p>B. No sulfídico ($H_2S < 10^{-6} M$)</p> <p>1. Post-óxico</p> <p>2. Metánico</p>	<p>Pirita, marcasita, rodocrosita, albandita, materia orgánica considerable.</p> <p>Glauconita, silicatos férricos, minerales no sulfurosos, relativamente poca materia orgánica.</p> <p>Siderita, vivianita, rodocrosita, minerales sulfurosos de formación temprana, materia orgánica considerable.</p>

Tabla 3.2. - Grupos halinos sugeridos por Wilson (1994).

Intervalo de salinidad	Nomenclatura
< 0.05	Limnético
0.5 - 5.0	Oligohalino
5.0 - 18.0	Mesohalino
18.0 - 30.0	Polihalino
30.0 - 35.0	Euhalino

3.3 Análisis granulométrico

Las muestras de sedimentos se analizaron granulométricamente de acuerdo con el método propuesto por Folk (1974), que consiste en lavarlos con Peróxido de Hidrógeno para eliminar la materia orgánica y separarlos en sus componentes gruesos (gravas y arenas) y finos (limos y arcillas), pasando la muestra a través de un tamiz con abertura de 62 micras (4ϕ). La fracción gruesa se secó a 60°C , pesándose posteriormente para conocer el porcentaje correspondiente a esta fracción, en cuanto a los limos y arcillas, una vez transferidos a una probeta de 1 l de capacidad y aforados a dicho volumen, se les añadió dispersante y se efectuaron dos pipeteos, el primero, 20 segundos después de agitar la muestra a 20 cm de profundidad y el segundo dos horas con 3 minutos más tarde, a 10 cm de

profundidad, equivalentes a 4 y 8 ϕ , respectivamente; la mezcla agua sedimento pipeteada se traslado a crisoles para secarse y pesarse, obteniendo así los porcentajes de limos y arcillas de las muestras (Fig. 3.2).

Conociendo la cantidad de arena, limo y arcilla se procedió a elaborar una gráfica ternaria para utilizar la clasificación de los sedimentos propuesta por Shepard (1973). Por otro lado, se procedió a calcular los parámetros estadístico-texturales, mediante el método de los momentos propuesto por Krumbein y Pettijohn (1938), empleando el valor de 1.5 ϕ como intervalo medio en la fracción arenosa, 6 ϕ para los limos y 10.5 ϕ para la fracción arcillosa; con los valores obtenidos se clasificaron los sedimentos empleando la nomenclatura recomendada por Folk y Ward (1957) (Tabla 3.3).

3.4 Análisis geoquímicos

Las muestras de sedimento fueron descongeladas, secadas (80-90°C) y pulverizadas en un mortero de porcelana para realizar los análisis geoquímicos. Para determinar el contenido de carbono orgánico se utilizó el método propuesto por Walkley y Black (1934), modificado por Loring y Rantala (1977), se tomaron 0.5 g de muestra en un matraz Erlenmeyer de 500 ml de capacidad, añadiéndose 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1N y 20 ml de H_2SO_4 concentrado, este último con 0.05 g de Ag_2SO_4 , mezclándose suavemente por 1 minuto y calentándose durante 30 minutos a una temperatura de 140°C; se enfría la solución y se afora a 200 ml con agua destilada, agregándose 10 ml de H_3PO_4 (85 %) y 0.2 g de NaF, se titula con $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 0.5N, empleando difenilamina como indicador (Fig. 3.3).

El contenido de carbonato de calcio se obtuvo mediante la determinación del calcio de los carbonatos, el cual, al igual que las concentraciones de los metales pesados biodisponibles (Ag, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, V y Zn), se extrajeron

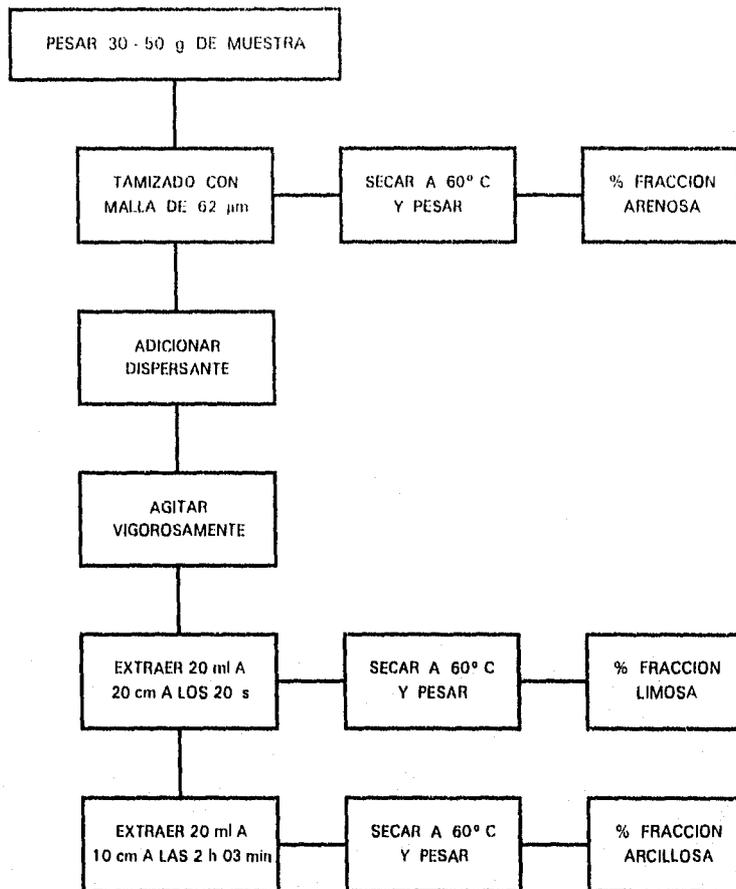


Figura 3.2.- Metodología para la determinación del tamaño de los sedimentos sugerida por Folk (1974).

Tabla 3.3.- Parámetros estadístico-texturales de acuerdo a Krumbein y Pettijohn (1938) y nomenclatura según Folk y Ward (1957).

PARAMETROS	FORMULA KRUMBEIN Y PETTIJOHN (1938)	NOMENCLATURA	
		INTERVALO ϕ	FOLK Y WARD (1957)
MEDIA M_s	$M_s = \frac{\sum(m)}{100}$	1 - 2 2 - 3 3 - 4 4 - 5 5 - 6 6 - 7 7 - 8 > 8	ARENA MEDIA ARENA FINA ARENA MUY FINA LIMO GRUESO LIMO MEDIO LIMO FINO LIMO MUY FINO ARCILLA
GRADO DE CLASIFICACION σ_s	$\sigma_s = \left(\frac{\sum(m - M_s)^2}{100} \right)^{1/2}$	< 0.35 0.35 - 0.50 0.50 - 1.00 1.00 - 2.00 2.00 - 4.00	MUY BIEN CLASIFICADA BIEN CLASIFICADA MODERAD. CLASIFICADA MAL CLASIFICADA MUY MAL CLASIFICADA

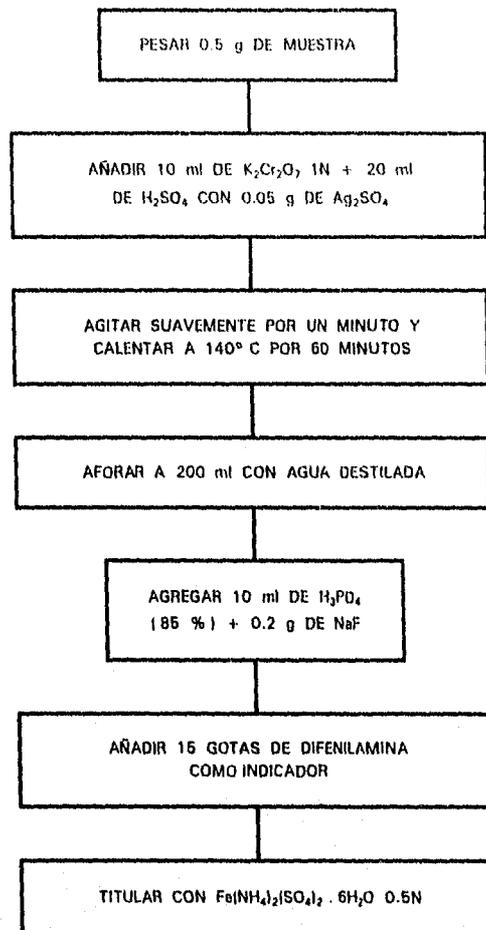


Figura 3.3.- Determinación de carbono orgánico según Walkley y Black (1934) modificado por Loring y Rantala (1977).

empleando el método recomendado por Meguellati *et al.* (1983), modificado por Páez-Osuna y Osuna-López (1990a), quienes sugieren digerir 1 g de sedimento en 25 ml de Na-OAc 1M, ajustando a un pH=5 con H-OAc, agitando continuamente durante 5 horas a 20° C, centrifugar y obtener el sobrenadante, cuantificandole los contenidos mediante la absorbancia en el espectrofotómetro de absorción atómica marca Shimadzu modelo AA-630-12 (Fig. 3.4), el cual fue previamente calibrado como se indica más adelante. Este tratamiento ataca la fracción de los metales que está incorporada a los sedimentos mediante precipitación, floculación y adsorción, representando el contenido de metal fácilmente removible y disponible para la biota (Gupta y Chen, 1975).

Los metales pesados totales se determinaron utilizando el método propuesto por Breder (1982), digiriendo 300 mg de sedimento con 15 ml de agua regia invertida (HNO₃:HCl 3:1), calentando en recipientes de teflón y placas de acero con baño de arena a 120° C durante 8 horas, posteriormente se centrifugó y se obtuvo el sobrenadante para cuantificar los elementos mediante el espectrofotómetro mencionado (Fig. 3.5). La confiabilidad de la metodología ha sido verificada por Páez-Osuna y Osuna-López (1990b) y Alvarez-Arellano y Páez-Osuna (1995), mediante el análisis de una muestra de referencia de sedimento SDN-1/2, proporcionado por la International Atomic Energy Agency (1985). La exactitud expresada como la diferencia en porcentaje de los niveles encontrados con respecto a los de la muestra de referencia y la precisión como desviación estándar (en paréntesis), fueron como sigue: Ag, 40.0 % (1.35 ppm); Al, 42.0 % (0.35 %); Cd, 2.5 % (1.20 ppm); Co, 20.5 % (1.46 ppm); Cr, 3.2 % (2.60 ppm); Cu, 11.0 % (1.13 ppm); Fe, 1.9 % (0.19 %); Li, 35.4 % (0.93 ppm); Mn, 7.4 % (38.75 ppm); Ni, 6.8 % (5.71 ppm); Pb, 13.3 % (13.69 ppm); V, 10.7 % (3.08 ppm) y Zn, 2.2 % (1.58 ppm). Con excepción de la plata, aluminio, cobalto y litio, la concordancia entre los resultados analíticos para la muestra de referencia y sus valores certificados fue aceptable. En el caso de Al, Fe y Li, los valores reportados por la International Atomic Energy Agency (*op. cit.*), para el material de referencia no están certificados.

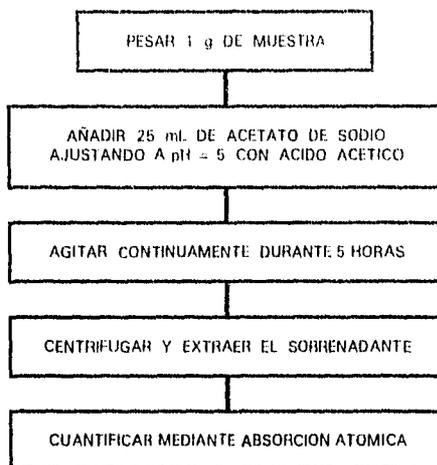


Figura 3.4.- Determinación de metales pesados biodisponibles propuesta por Meguelliati et al. (1983), modificada por Páez-Osuna y Osuna-López (1990a).

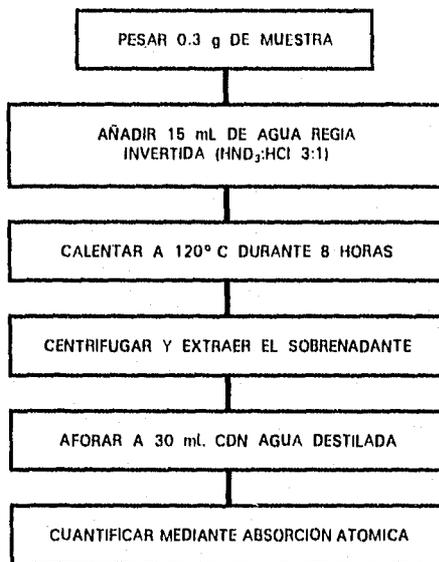


Figura 3.5.- Determinación de metales pesados totales sugerida por Breder (1982).

3.5 Procesamiento de los datos

Los resultados obtenidos para las concentraciones cada parámetro fueron representados en mapas del complejo lagunar Bahía de Altata - Ensenada del Pabellón, empleando intervalos de concentraciones para identificar zonas de altos y bajos contenidos de estos elementos y compuestos. El número y amplitud de los intervalos utilizados se definió arbitrariamente de acuerdo al rango de valores obtenido para cada variable.

Con el fin de realizar comparaciones y observar alguna relación, los resultados de cada parámetro fueron agrupados de acuerdo a los ambientes sedimentarios y se les determinó su promedio y desviación estándar, a excepción de los valores obtenidos a partir del análisis granulométrico.

Este mismo procedimiento fue efectuado empleando como criterio los grupos halinos, la región donde fue obtenida la muestra (Bahía de Altata, Ensenada del Pabellón y Cuerpos de agua interiores) y los puntos de muestreo en zonas de manglar con respecto al resto de los puntos. En las dos últimas agrupaciones se incluyeron los valores obtenidos para el tamaño medio del sedimento.

Con el objeto de encontrar correlaciones entre las diferentes variables, se utilizaron regresiones lineales, creándose una matriz con los coeficientes (r), obtenidos. De acuerdo a los grados de libertad y utilizando una tabla estadística para definir la t de "student", los coeficientes mayores a 0.23 son significativos al 95 % de confianza, en tanto que aquellos mayores a 0.36, lo son al 99.9 %.

Se elaboraron gráficas de todos los metales pesados en la fracción total usando Al y Li como variables independientes. Asimismo se graficaron el carbón orgánico, el carbonato de calcio y los metales pesados (totales y biodisponibles), contra el tamaño promedio de los sedimentos ($M\phi$); los metales pesados totales (excepto Fe, Mn y Pb), y el Zn biodisponible se graficaron contra el contenido de carbono orgánico; los metales pesados biodisponibles (a excepción de Fe, Mn y V), contra la concentración de carbonato de calcio; además de aquellos pares de metales cuyo coeficiente de correlación fue mayor de 0.60. Transformaciones logarítmicas (base 10), fueron hechas para todos los datos con la finalidad de satisfacer la premisa de una varianza constante y comportamiento normal, como lo sugieren Schropp y Windom (1988). Cabe hacer mención que todos los cálculos se realizaron empleando hojas de calculo del software Excel versión 5.0 de Microsoft Corp., y las gráficas se elaboraron utilizando Statgraphics Plus versión 6.0 (1992).

Para determinar el factor de enriquecimiento de los metales pesados analizados con respecto a los valores detectados aguas arriba del río Culiacán (estaciones Humaya y Tamazula), se empleó la relación sugerida por Buat-Ménard (1979):

$$F-E = \frac{[M]_s / [E]_s}{[M]_r / [E]_r}$$

donde:

$[M]_s$ = Concentración del metal en el sedimento del área de estudio,

$[E]_s$ = Concentración del elemento conservativo en el sedimento del área de estudio,

$[M]_r$ = Concentración del metal en el sedimento del área de referencia y,

$[E]_r$ = Concentración del elemento conservativo en el sedimento del área de referencia.

Utilizando como elementos conservativos el aluminio y el litio tomando y como valor de referencia el promedio de las concentraciones de estos metales en las estaciones Humaya y Tamazula.

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

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

donde $[M]_i$ y $[M]_r$ son las concentraciones del metal en el sedimento del área de estudio y de referencia, respectivamente. Clasificándolo de acuerdo a la Tabla 3.4.

Tabla 3.4.- 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

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Análisis físico-químicos

4.1.1.- Oxígeno disuelto:

Las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua de fondo variaron desde menor que el límite de detección del método empleado (0.03 mg/l), hasta 13.06 mg/l, con un promedio de 5.95 ± 1.59 mg/l, como se puede observar en el anexo I, donde además se indica el ambiente sedimentario que se definió en cada estación.

De acuerdo con la clasificación geoquímica sugerida por Berner (1981), en el sistema lagunar predominan los ambientes sedimentarios supraóxicos, presentándose los valores más altos aguas arriba del río Culiacán (estaciones 45 y 46), debido a que la corriente fluvial oxigena constantemente el agua. Sin embargo, además de ambientes óxicos y subóxicos, también se encontraron ambientes anóxicos, estos últimos en la conexión entre la Ensenada del Pabellón y Bataoto (estación 12), donde el agua de fondo movida más lentamente y la materia orgánica existente en ese lugar es suficiente y en exceso, para consumir el oxígeno en su proceso de descomposición (Fig. 4.1).

Los coeficientes de correlación lineal entre las concentraciones de oxígeno disuelto y la totalidad de las variables estuvieron por debajo de 0.23, valor que corresponde al nivel de significancia del 95% ($P < 0.05$), a excepción del carbono orgánico (-0.29) y Cr totales (-0.25), con quienes se correlacionó en forma inversa (Tabla 4.1). Lo anterior sugiere que no existe ninguna dependencia respecto a la cantidad de oxígeno disuelto y el comportamiento general del resto de los parámetros analizados, o bien a que los niveles de oxígeno medidos en el momento de la

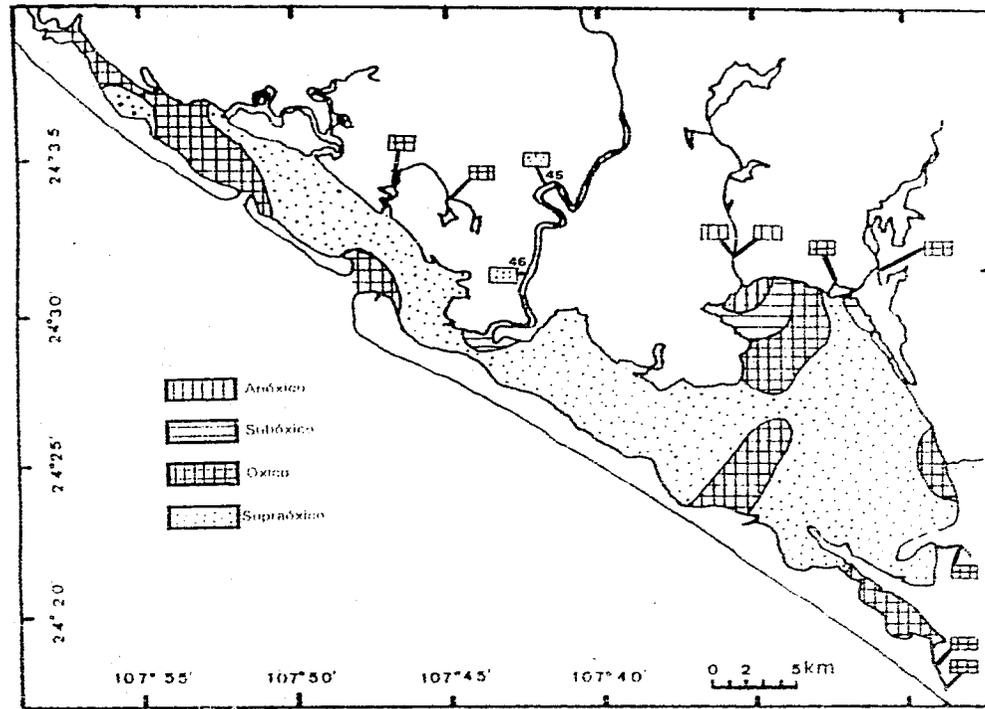


Figura 4.1 - Distribución de oxígeno disuelto en el agua del sistema lagunar Altata Ensenada del Cabelón

Tabla 4.1.- Matriz de coeficientes de correlación de las regresiones lineales entre los parámetros analizados con una significancia del 95 % (P < 0.05).

	SAL	D ₁	Comp	CaCO ₃	M	Ag	Al	Cl	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	PH	V	Zn	Ca Bio	Co Bio	Cr Bio	Cu Bio	Fe Bio	Ni Bio	
Comp	-0.44*	-0.29	1.00																						
M	-0.46*		0.62*		1.00																				
Ag	0.25		0.46*	0.43*	0.62*	1.00																			
Al	-0.41*		0.45*		0.83*	0.51*	1.00																		
Ca	0.40*		0.32	0.24		0.48*		1.00																	
Co			0.50*		0.51*	0.35	0.55*		1.00																
Cr	-0.32	-0.25	0.62*		0.69*	0.56*	0.66*		0.58*	1.00															
Cu	-0.49*		0.85*		0.93*	0.60*	0.83*		0.58*	0.76*	1.00														
Fe			0.24	-0.29	0.55*	0.37*	0.57*		0.35	0.51*	0.55*	1.00													
Li	-0.33		0.54*	-0.25	0.95*	0.54*	0.81*		0.53*	0.70*	0.91*	0.63*	1.00												
Mn	-0.55*				0.29		0.37*	-0.35		0.24				1.00											
Ni	-0.30		0.54*		0.86*	0.62*	0.71*	0.23	0.45*	0.65*	0.85*	0.58*	0.88*		1.00										
PH			0.30		0.58*	0.52*	0.47*	0.44*	0.35	0.58*	0.57*	0.43*	0.59*		0.60*	1.00									
V			0.45*		0.55*	0.47*	0.45*	0.39*	0.46*	0.55*	0.60*	0.56*	0.60*		0.58*	0.47*	1.00								
Zn			0.55*	-0.23	0.79*	0.48*	0.69*		0.44*	0.64*	0.81*	0.52*	0.82*		0.75*	0.53*	0.61*	1.00							
Ca Bio				0.67*		0.43*		0.62*											1.00						
Co Bio			0.24	0.88*		0.52*		0.40*								0.23			0.76*	1.00					
Cr Bio			0.92*		0.42*		0.39*					-0.31				0.23			0.68*	0.86*	1.00				
Cu Bio	-0.44*			0.70*	0.35	0.55*	0.29				0.40*					0.26	0.25		0.45*	0.69*	0.70*	1.00			
Fe Bio	0.28			-0.32							0.26						0.33	0.38*		-0.25	-0.28		1.00		
Mn Bio	-0.52*						0.23	-0.30					0.94*											1.00	
Ni Bio				0.93*		0.43*		0.37*				-0.27								0.74*	0.92*	0.91*	0.65*	0.36*	1.00
PH Bio			0.24	0.47*	0.46*	0.56*	0.28	0.47*		0.28	0.39*		0.40*		0.46*	0.53*	0.33	0.25	0.34	0.46*	0.57*	0.54*		0.50*	
Zn Bio			0.78*		0.41*	0.37*	0.33	0.34	0.41*	0.57*	0.58*	0.28	0.39*		0.40*	0.24	0.53*	0.56*						0.59*	

* = Significancia del 99.9 % (P < 0.001)

colecta del sedimento no son los representativos para cada estación con respecto al tiempo (i.e. en la hora del día y en la época del año).

La correlación inversa entre el contenido de carbono orgánico y la concentración de oxígeno disuelto en el agua suprayacente llama la atención porque, no obstante haberse realizado la colección de las muestras en diferentes horas luz (entre las 8 y 17 horas), la correlación resultó ser significativa (al 95%) y refleja principalmente las diferencias entre el aporte y la producción orgánica en las distintas localidades del sistema lagunar. De tal manera que en aquellos sitios donde el aporte de materia orgánica es mayor, y mayor el contenido en los sedimentos se presenta una demanda más grande de oxígeno disuelto, mientras que en los sitios con bajo contenido de materia orgánica, esta demanda es menor.

A excepción de los valores obtenidos para el análisis granulométrico, los resultados de cada parámetro analizado fueron agrupados de acuerdo a su contenido de oxígeno según ambientes sedimentarios y se les determinó su promedio y desviación estándar. El carbono orgánico, carbonato de calcio, Cd y Cr totales y Cd, Cr, Fe, y Pb en la fase biodisponible, presentaron diferencias significativas entre las concentraciones medias correspondientes a los distintos ambientes sedimentarios (Tablas 4.2, 4.3 y 4.4).

Con respecto a las concentraciones promedio de oxígeno disuelto para cada grupo halino, así como de acuerdo a la región en la que fue colectada la muestra de agua (Altata, Ensenada del Pabellón o Cuerpos de agua interiores), no existieron diferencias significativas entre ellas (Tablas 4.5 y 4.8).

Por el contrario, al obtener el promedio de las concentraciones de oxígeno disuelto de las muestras obtenidas en zonas de manglar (Tabla 4.11), se observó que fue significativamente menor (4.92 mg/l), que la media de aquellas del resto de las

Tabla 4.2.- Media y desviación estándar del oxígeno disuelto, salinidad, carbono orgánico y carbonato de calcio, según el ambiente de oxidación del sistema lagunar Altata - Ensenada del Pabellón.

Parámetro	O ₂ (mg/l)	Salinidad (O/00)	C-org (%)	CaCO ₃ (%)
Anóxico				
Media	ND	< 2.00	2,24 ^a	3,8
Desv. est.	---	---	0,25	4,0
Subóxico				
Media	2,51	18,46	1,67	0,8 ^{b c}
Desv. est.	0,22	6,56	1,38	0,1
Óxico				
Media	4,85	26,38	1,83	4,4 ^b
Desv. est.	0,74	8,28	1,36	5,0
Supraóxico				
Media	6,91	26,01	1,13 ^a	6,5 ^c
Desv. est.	1,21	6,93	0,72	9,5

Note: Diferencias significativas entre los ambientes sedimentarios: a = anóxico y supraóxico,
b = subóxico y óxico y c = subóxico y supraóxico.

Tabla 4.3.- Media y desviación estándar de los metales pesados totales, según ambientes sedimentarios del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

Parám.	Ag (ppm)	Al (%)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Li (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)
Anóxico													
Media	3.7	6.3	0.3 ^a	21.0	14.6	47.7	4.9	22.5	709	16.5	82.4	34.2	76.9
Desv. est.	0.9	2.4	0.3	4.6	2.2	7.8	1.6	12.8	221	9.8	20.1	3.4	41.1
Subóxico													
Media	4.2	5.7	N D	17.8	18.5 ^b	43.6	4.8	19.5	554	14.3	91.9	39.9	102.7
Desv. est.	0.1	3.1	---	6.0	0.6	28.6	1.2	13.1	62	14.2	37.1	19.3	41.4
Óxico													
Media	3.8	4.6	0.4 ^a	17.9	15.9	28.8	4.8	20.0	1156	14.5	98.4	31.8	83.6
Desv. est.	1.1	2.5	0.4	5.3	4.1	16.4	1.7	9.9	1769	7.7	37.7	7.5	44.7
Supraóxico													
Media	3.9	4.3	0.3	16.1	14.7 ^b	26.6	5.9	18.2	978	14.4	109.1	35.8	77.7
Desv. est.	1.0	1.9	0.3	4.7	2.9	13.1	2.7	8.8	913	7.7	38.3	9.4	36.5

Nota: Diferencias significativas entre los ambientes sedimentarios: a = anóxico y óxico, y b = subóxico y supraóxico.

Tabla 4.4.- Media y desviación estándar de los metales pesados biodisponibles, según ambientes sedimentarios del sistema lagunar Allata - Ensenada del Pabellón.

Parám.	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Anóxico									
Media	0.2	2.7	0.8	3.7	112 ^{a b}	181	2.4	12.0	5.9
Des. est.	0.2	1.1	0.0	1.0	8	5	1.5	7.6	1.4
Subóxico									
Media	0.13 ^{c d}	1.1	0.3 ^d	2.5	777	80	0.9 ^{c d}	27.3	9.4
Des. est.	0.0	0.7	0.1	1.7	581	36	0.0	3.1	1.5
Óxico									
Media	0.4 ^c	1.9	0.6	1.6	471 ^a	526	2.4 ^c	22.9	4.4
Des. est.	0.4	0.9	0.5	0.8	359	1149	1.2	13.7	2.5
Supraóxico									
Media	0.4 ^d	1.9	0.9 ^d	1.7	575 ^b	265	2.4 ^d	28.3	4.3
Des. est.	0.3	1.4	0.9	0.9	318	383	1.9	17.9	2.3

Nota: Diferencias significativas entre los ambientes sedimentarios. a = anóxico y óxico, b = anóxico y supraóxico, c = subóxico y óxico y, d = subóxico y supraóxico.

Tabla 4.5.- Media y desviación estándar del oxígeno disuelto, salinidad, carbono orgánico y carbonato de calcio, de acuerdo con los grupos halinos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

Parámetro	O ₂ (mg/l)	Salinidad (0/00)	C-org (%)	CaCO ₃ (%)
Oligohalino				
Media	6.78	N D	2,36 ^a	9.2
Desv. est.	3.60	----	1.21	8.0
Mesohalino				
Media	5.84	11.51	2,04 ^{b c}	2.1
Desv. est.	2.02	4.61	0.43	1.5
Polihalino				
Media	5.85	25.29	1,33 ^b	6.5
Desv. est.	1.24	2.88	1.00	9.6
Euhalina				
Media	5.97	34.27	0,93 ^{a c}	2.9
Desv. est.	1.01	0.94	1.00	3.1

Nota: Diferencias significativas entre los grupos halinos: a = oligohalino y euhalino, b = mesohalino y polihalino y c = mesohalino y euhalino.

Tabla 4.6.- Media y desviación estándar de los metales pesados totales en los grupos halinos del sistema lagunar Altata - Ensenada del Pabellón.

Parám.	Ag (ppm)	Al (%)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Li (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)
Oligohalino													
Media	3.8	5.1	0.3	18.6	15,1 ^a	35,5 ^c	3,9 ^{a b}	18,6 ^a	2510	15,3	82,8 ^{a b}	31,8	75,1
Desv. est.	0.9	2.1	0.3	4.8	2.5	11.5	1.3	8.1	2767	5.9	21.1	3.5	27.3
Mesohalino													
Media	4,5 ^e	6,8 ^e	0,3	19,8	19,1 ^{ade}	47,4 ^{de}	6,8 ^a	31,5 ^{ade}	1450	23,0 ^{de}	141,9 ^{ae}	41,2	111,6 ^a
Desv. est.	0.7	1.9	0.0	2.6	2.2	8.1	1.9	3.4	901	5.3	24.4	9.6	22.7
Polihalino													
MEDIA	4,0 ^f	4,7 ^f	0,4	16,5	15,1 ^d	28,8 ^{df}	5,8 ^b	19,1 ^d	793,1 ^f	13,9 ^d	113,7 ^{bf}	35,3	81,6
Desv. est.	1.0	2.0	0.3	4.9	3.2	13.5	2.5	9.0	551	7.4	36.3	9.2	37.5
Euhalino													
MEDIA	3,2 ^{ef}	2,9 ^{ef}	0,5	16,2	13,7 ^e	16,8 ^{cef}	4,6	13,2 ^e	436,5 ^f	10,8 ^c	72,7 ^{ef}	30,6	66,5 ^a
Desv. est.	0.8	1.6	0.6	5.9	3.5	12.9	2.1	6.7	240	7.9	20.7	8.2	48.8

Nota: Diferencias significativas entre los grupos halinos: a = oligohalino y mesohalino, b = oligohalino y polihalino, c = oligohalino y euhalino, d = mesohalino y polihalino, e = mesohalino y euhalino, y f = polihalino y euhalino.

Tabla 4.7. Media y desviación estándar de los metales pesados biodisponibles de acuerdo con los grupos halinos del sistema lagunar Altava - Ensenada del Pabellón.

Parám.	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Oligohalino									
Media	0.3	2.5	1.0	2.4 ^a	217	1284	3.0	21.4	4.3
Des. est.	0.2	1.3	0.6	1.1	367	1777	2.2	18.7	2.1
Mesohalino									
Media	0.2 ^b	1.3	0.5	2.0	403	578	1.4	36.5 ^c	5.9
Des. est.	0.1	0.6	0.5	0.8	305	547	0.9	7.0	3.7
Polihalino									
Media	0.4 ^b	2.1	0.8	1.9 ^d	587	173 ^d	2.5	29.8 ^d	4.6
Des. est.	0.3	1.3	0.9	0.9	296	116	1.8	16.5	2.2
Euhalino									
Media	0.5	1.6	0.5	1.0 ^{a,d}	675	100 ^d	2.0	13.7 ^{c,d}	3.8
Des. est.	0.5	0.8	0.4	0.4	380	65	0.9	7.1	2.6

Nota: Diferencias significativas entre los grupos halinos. a = oligo halino y euhalino, b = mesohalino y polihalino, c = mesohalino y euhalino y, d = polihalino y euhalino.

Tabla 4. B.- Media y desviación estándar del oxígeno disuelto, salinidad, carbono orgánico, carbonato de calcio y tamaño medio del sedimento en las diferentes regiones del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

Parámetro	O ₂ (mg/l)	Salinidad (0/00)	C-org (%)	CaCO ₃ (%)	M ₅₀ (φ)
Bahía de Altata					
Media	6.08	34.25 ^a	0.76 ^b	2.8 ^a	2.3 ^{a b}
Desv. est.	0.96	0.97	0.80	2.9	1.6
Ensenada del Pabellón					
Media	5.98	23.43 ^a	1.58	7.5 ^a	4.7 ^a
Desv. est.	1.22	4.07	1.64	11.2	2.1
Cuerpos de agua interiores					
Media	5.67	20.99	2.36 ^b	2.83	4.8 ^b
Desv. est.	3.14	12.47	1.14	3.7	2.4

Note: Diferencias significativas entre las diferentes regiones: a = Bahía de Altata y Ensenada del Pabellón, b = Bahía de Altata y Cuerpos de agua interiores y c = Ensenada del Pabellón y cuerpos de agua interiores.

Tabla 4.9.- Media y desviación estándar de los metales pesados totales en las diferentes regiones del sistema lagunar Altata - Ensenada del Pabellón.

Param.	Ag (ppm)	Al (%)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Li (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)
Bahía de Altata													
Media	3.0 ^a	2.7 ^{a b}	0.5	15.4	13.4 ^{a b}	15.2 ^{a b}	4.5	11.9 ^a	436 ^a	9.3 ^a	81.3 ^a	28.9	57.2
Desv. est.	1.0	1.6	0.6	5.9	3.0	12.0	1.9	6.6	229	7.5	32.6	8.3	41.8
Ensenada del Pabellón													
Media	4.1 ^a	5.0 ^a	0.5	18.1	16.2 ^a	32.1 ^a	5.9	20.9 ^a	884 ^a	16.2 ^a	140.1 ^{ac}	35.9	84.5
Desv. est.	1.1	2.0	0.4	5.6	4.1	14.4	2.3	9.4	768	7.9	58.0	11.2	36.7
Cuerpos de agua interiores													
Media	3.7	5.0 ^b	0.2	17.5	16.8 ^b	36.8 ^b	4.7	21.5	1826	15.7	91.6 ^c	36.7	96.1
Desv. est.	0.7	2.2	0.2	3.4	3.1	13.1	1.7	9.9	2324	6.2	32.1	6.6	41.4

Nota: Diferencias significativas entre las diferentes regiones : a = Bahía de Altata y Ensenada del Pabellón, b = Bahía de Altata y Cuerpos de agua interiores, y c = Ensenada del Pabellón y Cuerpos de agua interiores.

Tabla 4.10.- Media y desviación estandar de los metales pesados biodisponibles en las diferentes regiones del sistema lagunar Bahía de Altata - Ensenada del Pabellón.

Parám.	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
Bahía de Altata									
Media	0.4	1.5	0.6	0.9 ^{a b}	533	104 ^a	2.0	14.7 ^a	3.4
Des. est.	0.5	0.8	0.3	0.5	367	70	0.9	7.8	2.5
Ensenada del Pabellón									
Media	0.4	2.3	1.0	2.0 ^a	446	240 ^a	3.0	33.2 ^{a c}	4.7
Des. est.	0.4	1.9	1.1	1.1	296	315	2.5	16.3	3.4
Cuerpos de agua interiores									
Media	0.2	1.8	0.6	1.9 ^b	545	923	1.7	18.3 ^c	6.14
Des. est.	0.1	0.8	0.5	0.9	504	1554	1.3	10.9	3.4

Nota: Diferencias significativas entre las diferentes regiones, a = Bahía de Altata y Ensenada del Pabellón, b = Bahía de Altata y Cuerpos de agua interiores y c = Ensenada del Pabellón y Cuerpos de agua interiores.

Tabla 4.11.- Media y desviación estándar del oxígeno disuelto, salinidad, carbono orgánico y carbonato de calcio y tamaño media del sedimento, de acuerdo con la existencia de manglar en el sistema lagunar Alteta-Ensenada del Pabellón.

Parámetro	O ₂ (mg/l)	Salinidad (0/00)	C-org (%)	CaCO ₃ (%)	M ₅₀ (φ)
Con manglar					
Media	4.92 ^a	25.79	3.09 ^a	6.7	6.53 ^a
Desv. est.	1.03	8.58	2.19	10.4	1.97
Sin manglar					
Media	6.26 ^a	26.87	1.01 ^a	6.6	3.79 ^a
Desv. est.	1.61	7.30	0.67	8.2	2.17

Note: a = Diferencias significativas entre las regiones con y sin manglar.

Tabla 4.12.- Media y desviación estándar de los metales pesados totales, de acuerdo con la existencia de manglar en el sistema lagunar Altata - da del Pabellón.

Param.	Ag (ppm)	Al (%)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Li (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)
Con manglar													
Media	4.4	5.2	0.5	18.9	17.8	39.4 ^a	5.1	19.1	1424	17.6	122.0	36.6	100.2
Des. est.	1.0	1.7	0.5	6.0	4.1	12.1	1.5	9.6	1980	5.7	60.4	8.4	41.1
Sin manglar													
Media	3.7	4.4	0.4	16.9	15.0	26.0 ^a	5.5	19.1	762	13.7	120.6	33.9	74.1
Des. est.	1.1	2.2	0.3	5.2	3.6	15.1	2.4	9.6	588	8.5	56.0	11.0	37.8

tiva entre las regiones con y sin manglar.

Tabla 4.13.- Media y desviación estándar de los metales pesados biodisponibles, de acuerdo con la existencia de manglar en el sistema lagunar Altate - Ensenada del Pabellón.

Parám.	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
	(ppm )	( ppm )	( ppm )	( ppm )	( ppm )	( ppm )	( ppm )	( ppm )	( ppm )
Con manglar									
Media	0.4	2.6	1.0	2.3	605	627	3.1	26.3	6.8
Des. est.	0.3	1.8	0.9	1.0	609	1260	2.6	17.6	5.0
Sin manglar									
Media	0.3	1.9	0.8	1.6	470	206	2.4	27.6	3.9
Des. est.	0.4	1.6	0.9	1.0	271	247	2.0	16.1	2.0

muestras (6.26 mg/l), lo anterior debido al consumo de oxígeno en el proceso de descomposición de la materia orgánica asociada a los manglares.

4.1.2.- Salinidad:

La variación de la salinidad en el área de estudio está regida por la entrada de agua marina a través de las bocas, así como por las aportaciones de agua dulce del río Culliacán y cuerpos de agua interiores (Bataoto, Chiricahueto, etc.), mareas y corrientes internas. La salinidad promedio del área de estudio en la época de muestreo (marzo), fue de 25.85 ± 7.45 ‰, oscilando entre menores que el límite de detección del método utilizado (2.00 ‰) y 35.34 ‰ (anexo I).

Los valores más altos de salinidad (grupo euhalino), se localizaron en la región noroeste de la Bahía de Altata (estaciones 35, 36, 37, 38 y 39), en tanto que el grupo oligohalino con concentraciones no detectables, se ubicaron en los cuerpos de agua interiores y en sus respectivas conexiones con la Ensenada del Pabellón, como son Las Puentes (estaciones 1, 2 y 3), la conexión hacia Bataoto (estaciones 11 y 12), aguas arriba del río Culliacán (estación 45) y estero El Tigre (estación 56), siendo el grupo halino predominante el denominado polihalino (Fig. 4.2), cabe aclarar que en la estación 6 se detectó una salinidad de 17.02 ‰, sin embargo, considerando su ubicación y la clasificación para las estaciones alrededor de ésta, se consideró dentro del grupo polihalino (18 - 30 ‰).

Existe una tendencia negativa entre los valores absolutos de los coeficientes de correlación lineal de la salinidad y los demás parámetros, a excepción del Cd y Fe en las fracciones total y biodisponible (Tabla 4.1). Aquellos parámetros que presentaron una correlación significativa con la salinidad, serán discutidos posteriormente.

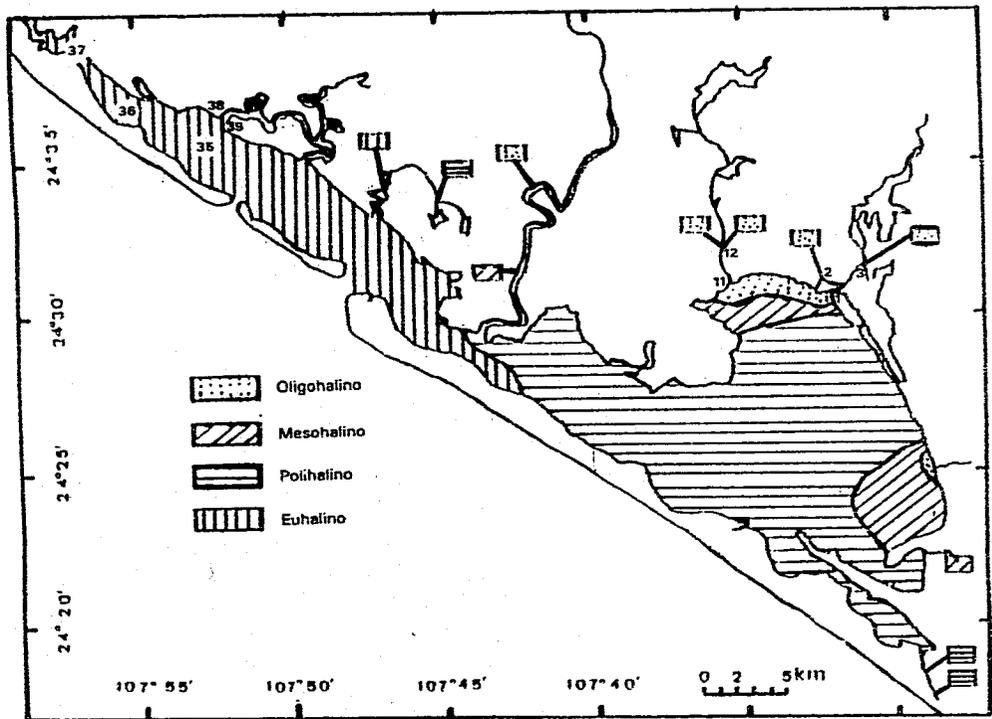


Figura 4.2.- Distribución de salinidad en el sistema lagunar Allata-Ensenada del Pabellón

Al calcular la media y desviación estándar de los otros parámetros analizados en este trabajo (excluyendo los de granulometría), para cada grupo halino, se observó que el carbono orgánico, los metales pesados totales (excepto Cd, Co y V), y el Cd, Cu, Mn y Pb de la fracción biodisponible, presentaron diferencias significativas al menos entre dos de estos grupos (Tablas 4.5, 4.6 y 4.7), discutiéndolo más a detalle en las correspondientes secciones.

En relación al agrupamiento de los valores de acuerdo a la región de muestreo, la salinidad promedio en la Bahía de Altata (34.25 ‰), es significativamente mayor que los de la Ensenada del Pabellón (23.43 ‰) y los cuerpos de agua interiores (20.99 ‰), lo que se explica por la gran influencia marina a través de las bocas Tonina y Gavilán hacia la bahía, en tanto que la ensenada y los cuerpos interiores reciben aportes de agua dulce (Tabla 4.8), al menos en la época cuando se efectuaron los muestreos.

4.2 Análisis granulométrico

De acuerdo con la clasificación de Shepard (1973), el tipo de sedimento varió desde puramente arena (100 %), entre El Huichoral y la boca La Tonina (estaciones 31, 32 y 69), parte noroeste de la Bahía de Altata (estaciones 36, 37, 38 y 60), estero Aguamitas (estación 41) y Las Ratas (estación 67), posiblemente debido a la energía de las corrientes que transporta el sedimento fino para depositarlo en zonas de baja energía; hasta arcilla limosa (3.99 % de arena, 45.97 % de limo y 50.04 % de arcilla), en la conexión entre Bataoto y Ensenada del Pabellón (estación 12b), donde posiblemente sea una zona de poca energía, aunado a que la vegetación de manglar en la orilla del estero sirve como trampa para el material fino (anexo II; Fig. 4.3).

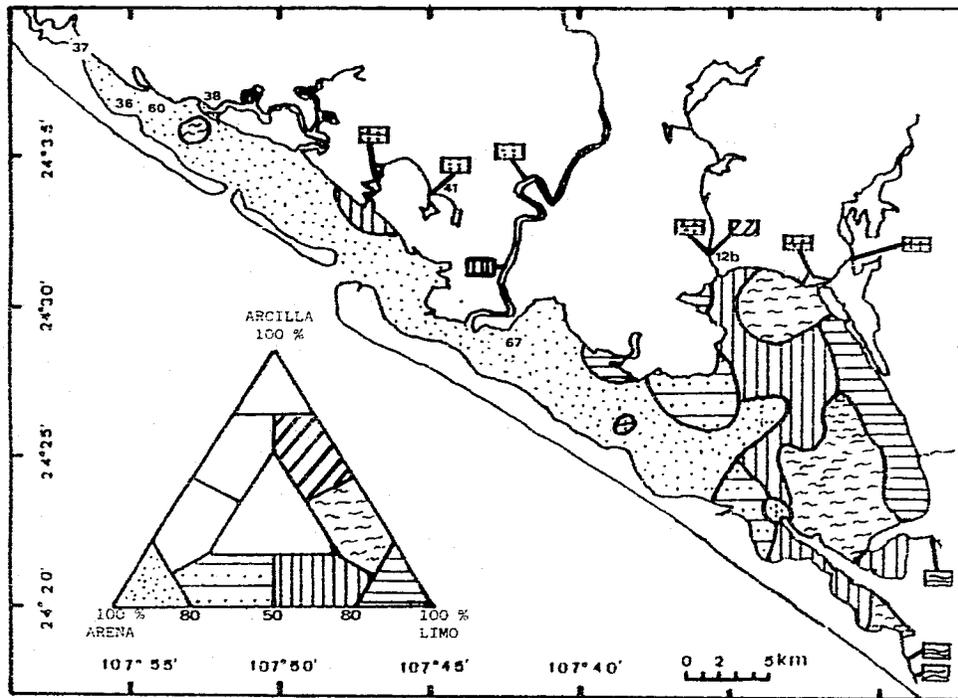


Figura 4.3 - Distribución del lanaño medio de los sedimentos del sistema lamunar Altata Enseñada del Pabellón

Empleando la nomenclatura de Folk y Ward (1957), a partir de los parámetros estadísticos, se pudo observar el mismo comportamiento, el valor mínimo para la media (M_{ϕ}), fue de 1.50 ϕ con un grado de clasificación (σ_{ϕ}) de 0.00 ϕ , clasificándose como arena media muy bien seleccionada, en tanto que la M_{ϕ} máxima fue de 8.07 ϕ con un σ_{ϕ} de 2.58 ϕ , correspondiente a arcilla muy mal seleccionada, en la estación 12 b (anexo II).

La correlación inversa entre el tamaño promedio del sedimento y la concentración de carbono orgánico y metales pesados debido a la gran capacidad de las arcillas de adsorber estos elementos, ha sido sugerida por diversos autores (CINVESTAV, 1989; González *et al.*, 1991). El sistema lagunar Bahía de Altata-Ensenada del Pabellón no es la excepción, presentando con más énfasis este comportamiento en relación a las concentraciones totales de Li ($r = 0.95$), Cu ($r = 0.93$), Ni ($r = 0.86$) y Al ($r = 0.83$). La fracción biodisponible de los metales pesados posee coeficientes de correlación (r) lineal con el tamaño promedio del sedimento por debajo de 0.46 (Tabla 4.1).

Granulométricamente, los sedimentos de Bahía de Altata son significativamente más gruesos que aquellos de las otras regiones (Tabla 4.8) del mismo complejo lagunar, seguramente asociado con el nivel energético de las corrientes en cada región como se mencionó anteriormente.

De manera general, los sedimentos obtenidos en zonas de manglar tienen un tamaño promedio más fino (5.53 ϕ), que los de las otras áreas (3.79 ϕ), evidenciando el carácter estabilizador del suelo de los manglares, reteniendo sedimento fino a su alrededor (Tabla 4.11).

4.3 Análisis geoquímicos

4.3.1. Carbono orgánico:

La concentración de carbono orgánico en los sedimentos del sistema lagunar Bahía de Altata - Ensenada del Pabellón osciló entre 0.16 y 11.15 %, con un promedio de 1.52 ± 1.51 % (anexo I).

Los valores más altos se encontraron en los esteros El Pericón (estación 76), De Ponce (estación 52), El Tigre (estación 56) y Carnevaca (estación 70), asociados a zonas de manglar en la Ensenada del Pabellón, al aporte de materia orgánica por escorrentías y a sedimento fino (limo); y en el canal de navegación de Bahía de Altata, enfrente del Tetuan Viejo (estación 35), a una profundidad de 10 m, en sedimento limo arcilloso. El menor contenido se registró para las zonas cercanas al Huichoral (estación 31), El Contrabando (estación 67), Boca La Tonina (estación 32), El Tetuan Nuevo (estación 38) y Punta Coyotes (estación 10), todas ellas presentan sedimento 100 % arenoso (Fig. 4.4).

A excepción del Zinc biodisponible, cuyo coeficiente de relación lineal con el carbono orgánico es el mayor que presentan todas las variables ($r = 0.78$), los metales pesados en la fracción biodisponible no se relacionaron con el carbono orgánico, en tanto que la fracción total de los metales posee coeficientes moderados, correspondiendo los menores al hierro total y cobalto y plomo biodisponibles ($r = 0.24$) y , los mayores al cobre ($r = 0.65$) y cromo totales ($r = 0.62$).

El tamaño promedio del sedimento en unidades ϕ , tuvo un coeficiente de correlación con el carbono orgánico de 0.62 (Tabla 4.1), que debido al número de muestras correlacionadas (77), es significativo al 99.9 % ($P < 0.001$). Las estaciones 76 (estero El Pericón), 41 y 42 (estero Aguamitas) y 2 (Las Puentes), quedan fuera del límite de predicción del 95 % de la regresión lineal para estas variables.

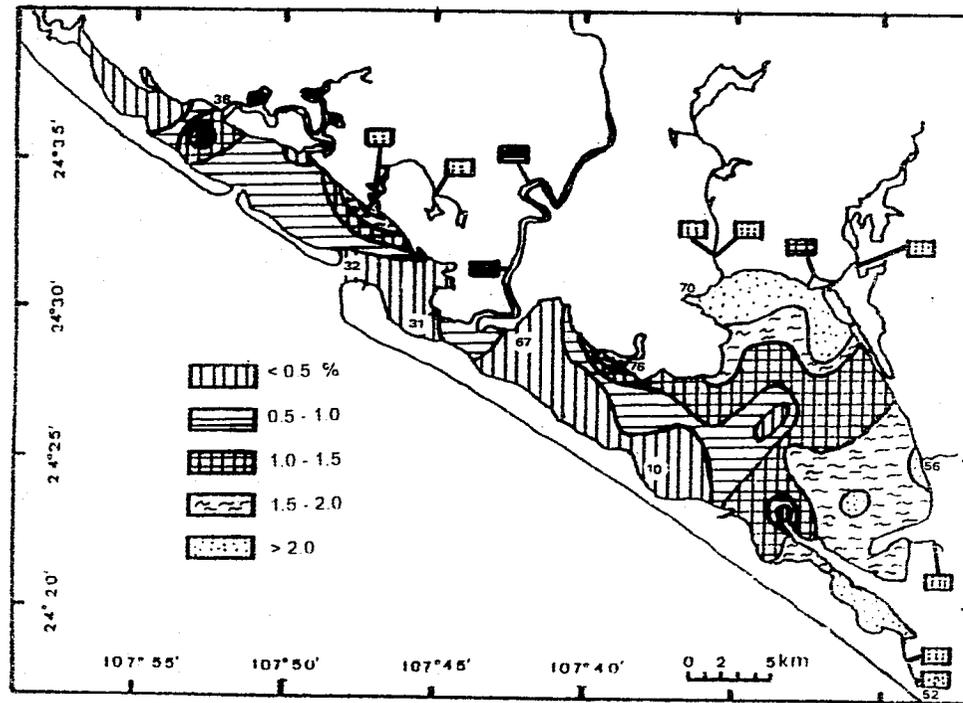


Figura 4.4 - Distribución de carbono orgánico en sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

indicando contenidos de carbono orgánico mayores que los esperados para los tamaños de sedimento correspondientes (Fig. 4.5).

La concentración promedio de carbono orgánico es significativamente mayor en el ambiente sedimentario anóxico (2.24 %), que en el supraóxico (1.13 %), como consecuencia del abatimiento del oxígeno en zonas de mayor contenido de material orgánico, mediante el proceso de oxidación de esta última (Tabla 4.2).

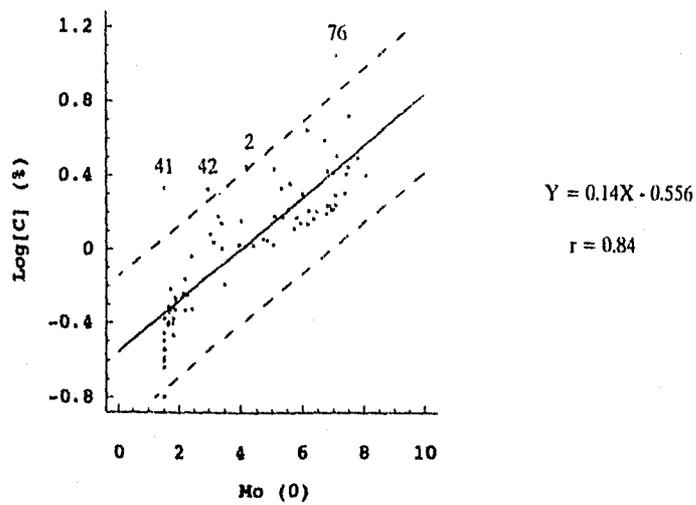


Figura 4.5.- Concentración de carbono orgánico (Log_{10}) vs. tamaño medio del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

El valor medio de carbono orgánico presenta diferencias significativas entre los cuatro grupos halinos definidos, presentando un gradiente inverso (Tabla 4.5). La concentración promedio correspondiente al grupo euhalino fue menor (0.93 %), que la del polihalino (1.33 %), mesohalino (2.04 %) y oligohalino (2.36 %). Lo anterior puede explicarse indirectamente, ya que los valores más altos de salinidad (euhalino) generalmente se presentan en la Bahía de Altata, donde también se presentan los sedimentos más gruesos, con los cuales la materia orgánica difícilmente se asocia; en contraste la materia orgánica se asocia con los sedimentos más finos, que ciertamente predominan en los cuerpos de agua interiores donde el régimen es oligohalino. Revelando además la influencia marítima en los primeros y continental en los últimos (Tabla 4.8).

4.3.2.- Carbonato de calcio:

El promedio del contenido de carbonato de calcio fue de 5.9 ± 9.5 %, siendo el mínimo valor 0.5 %, en tanto que el máximo fue de 46.7 % (anexo I).

Las mayores concentraciones se ubicaron en las proximidades de la Punta Zopilote (estación 61), Las Iguanas (estación 50), Punta Paredones (estación 57) y Las Puentes (estación 1), y en la estación 74, todas ellas dentro de la Ensenada del Pabellón (Fig. 4.6), y asociadas a las márgenes, a excepción de la estación 50. Los valores más pequeños se registraron en el Huichoral (estación 31), en el río Culiacán (estaciones 45, 46 y 47), y en el estero de Aguamitas (estación 42).

El carbonato de calcio como componente de los sedimentos sugiere la presencia de organismos con exo o endoesqueleto calcáreo, o el transporte de conchas o fragmentos de estas por las corrientes, indicando influencia marina. Salgado-Barragán (1993), explica la presencia de moluscos *Mytella striigata*, *Theodoxus*

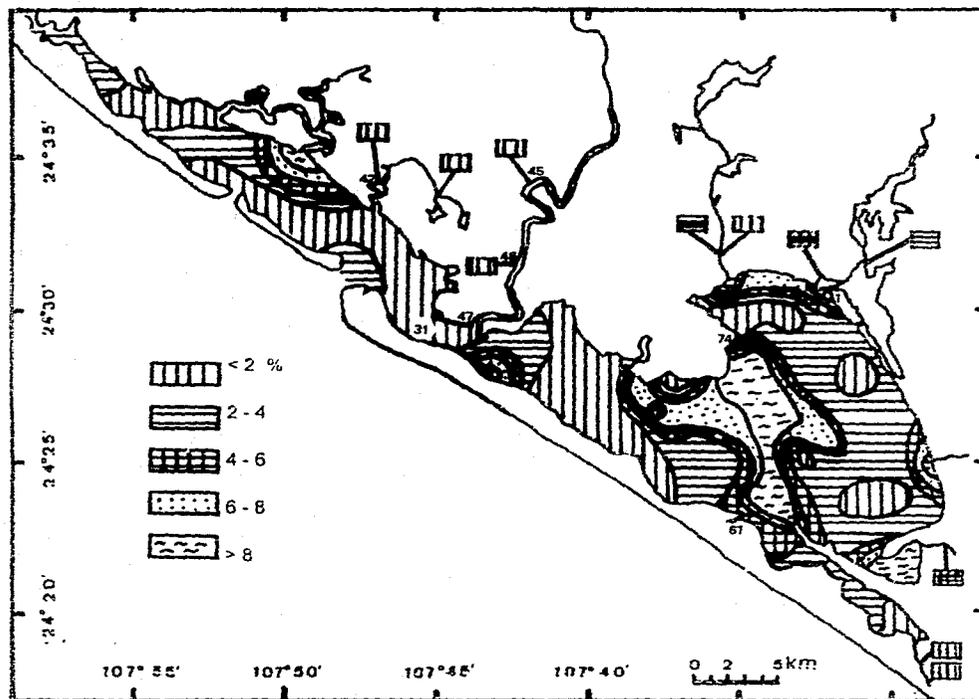


Figura 4.6.- Distribución de carbonato de calcio en sedimentos del sistema lanunar Altata-Ensenada del Pabellón.

luteofasciatus, *Nassarius complanatus*, *Cerithium stercusmuscarum* y *Littorina aberrans*, entre otros, en las localidades donde se presentaron los máximos niveles de carbonato de calcio.

El carbonato de calcio presenta un pobre coeficiente de correlación con respecto a la plata en la fracción total y el plomo en la fase biodisponible, en tanto que con el cobalto, cromo y níquel biodisponibles existe una buena correlación ($r > 0.87$) (Tabla 4.1).

Los ambientes sedimentarios óxico (4.4 %), y supraóxico (6.5 %), mostraron un contenido de este compuesto significativamente mayor que el subóxico (0.8 %), seguramente debido a que el oxígeno es un elemento vital para el desarrollo de comunidades de organismos con exoesqueleto calcáreo (Tabla 4.2).

Con respecto a los grupos halinos, no se observó ninguna diferencia significativa entre sus contenidos de carbonato de calcio (Tabla 4.5).

La concentración promedio de carbonato de calcio para la Ensenada del Pabellón (7.5 %), es mayor que la detectada en la Bahía de Altata (2.8 %) (Tabla 4.8), lo que se explica a partir de las condiciones favorables existentes en la ensenada, que permiten la fijación de los organismos al sustrato, tales como sustrato limoso y de manglar, mayor cantidad de materia orgánica, energía moderada, condiciones con las cuales no se cuenta en la bahía.

4.3.3.- Metales pesados totales:

Los valores de las concentraciones de los metales pesados extraídos con el agua regia invertida, definidos aquí como totales se muestran en el anexo III, en tanto que los coeficientes de correlación de estos elementos entre sí y con las demás

variables se observan en la Tabla 4.1. En general, las concentraciones de estos metales en los sedimentos del complejo lagunar Bahía de Altata - Ensenada del Pabellón son comparables a las presentadas en la literatura, tanto para las costas mexicanas (Tabla 4.14), como para otras regiones del mundo (Tabla 4.15).

En relación a los ambientes sedimentarios de depósito del sistema lagunar Altata - Ensenada del Pabellón, de todos los promedios de las concentraciones de los metales extraídos con el agua regia invertida, sólo los del cadmio y cromo presentaron diferencias significativas (Tabla 4.3). Lo anterior es discutido ampliamente en las secciones correspondientes a cada metal.

A excepción del cadmio, cobalto y vanadio, todos los elementos determinados mostraron diferencias significativas en sus promedios al agruparlos de acuerdo con la salinidad del agua suprayacente (Tabla 4.6).

En general, las concentraciones de los metales pesados totales en la Bahía de Altata son menores que en la Ensenada del Pabellón y los cuerpos de agua interiores, siendo estas diferencias significativas en el caso de la plata, aluminio, cromo, cobre, litio, manganeso, níquel y plomo (Tabla 4.9).

El Cu presentó una diferencia significativa al agrupar los datos con respecto a las zonas de manglar (Tabla 4.12).

Plata (Ag)

La mínima concentración de plata total en los sedimentos fue de 1.6 ppm y la máxima de 7.0 ppm, teniendo un promedio de 3.8 ± 1.1 ppm. Los valores más grandes (> 5.52 ppm), se registraron en la estación 74, Las Iguanas (estación 59), La Atascosa (estación 20), estero Pericón (estación 76) y en la boca del estero de Ponce (estación 54); mientras que los valores más pequeños (< 1.9 ppm), se

Tabla 4.14.- Intervalos o promedio de concentración de metales pesados en sedimentos de diversas localidades de México y del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Unidades en ppm, excepto Al y Fe (%).

Localidad	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Laguna Ceuta, Sin. ¹	---	1.8	12	7	9	1.2	333	10	13	---	27
Pto. de Mazatlán, Sin. ²	---	1.2	15	29	20	2.2	---	17	30	---	85
Laguna Chautengo, Oax. ³	---	2.4	30	56	35	4.1	580	47	---	---	91
Río Coatzacoalcos y L. Ostión, Ver. ⁴	---	0.6-2.4	6-57	19-305	5-75	1.2-8.5	---	11	17-91	---	21-131
Laguna Milta, Oax. ⁵	5.5	---	13	121	55	4.1	769	44	9	---	103
Pto. Salina Cruz, Oax. ⁵	---	---	---	20-88	---	---	---	11-99	7-85	22-71	---
Laguna Sontecomapan, Ver. ⁷	---	N D-1.7	14-35	70-86	22-40	---	---	74-125	12-34	---	42-66
Laguna Alvarado, Ver. ⁸	1.8-8.8	---	N D-48	24-527	11-32	1.1-10.5	301-1710	16-113	19-40	---	26-169
Río Papaloapan, Ver. ⁹	1.3-13.8	---	N D-23	31-124	14-32	0.8-3.0	167-1183	23-87	N D-39	---	7-89
Cuenca de Bahía San Quintín, B. C. ¹⁰	---	10.0	---	N D-150	10-50	---	---	20-40	---	---	39-40
Zona de estudio	4.6	0.5	17	16	29	5.4	925	15	121	35	80

(1) Osuna-López, 1981; (2) Osuna-López *et al.*, 1986; (3) Páez-Osuna *et al.*, (1984); (4) Páez-Osuna *et al.*, 1986; (5) Páez-Osuna *et al.*, 1997; (6) Pica-Granados *et al.*, 1994; (7) Ponce *et al.*, 1994; (8) Rosales-Hoz *et al.*, 1986a; (9) Rosales-Hoz *et al.*, 1986b; (10) Rosales-Hoz *et al.*, 1994.

Tabla 4.15.- Intervalos o promedio de concentración de metales pesados en sedimentos de diversas localidades del Mundo y del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

Localidad	Ag	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Golfo de Aqaba, Jordania ¹	---	---	7.2	33	63	4	1.0	---	182	43	137	---	72
Manismas de Georgia, E.U.A. ²	---	0.4 - 4.3	1.5 - 2.4	---	9-79	2-17	0.6 - 3.8	---	22 - 1020	5-24	---	17-125	18 - 89
Clyde Sea, Gran Bretaña ^{a 3}	0.2	---	1.6	---	33	16	---	---	355	30	42	---	85
Clyde Sea, Gran Bretaña ^{b 3}	4.0	---	6.4	---	122	269	---	---	407	77	361	---	631
Estua. St. Lawrence, Canada ⁴	---	3.7 - 8.0	---	---	44-99	8-43	---	10-53	---	---	18 - 30	---	27-115
Estuario Gangolli, India ⁵	---	3.0 - 6.0	---	2-13	58-151	13-165	1.4 - 4.8	---	79 - 212	10-49	2-36	48 - 178	23-147
Golfo de Thermaikos, Grecia ⁶	---	---	0.3 - 8.7	13-37	39-386	7-200	1.1 - 5.3	---	206 - 1994	29 - 290	11-334	---	32-2500
Zona de estudio	3.8	4.6	0.5	17	16	29	5.4	19	625	15	121	35	60

(a) Sedimentos "limpios"; (b) Sedimentos "contaminados".

(1) Abu-Hilal, 1993; (2) Alberts *et al.*, 1990; (3) Forstner, 1980; (4) Long, 1990; (5) Pandannath y Narayana, 1992; (6) Voutsinou-Taliadouri y Varnavas, 1995.

localizaron frente a la desembocadura del río Culiacán (estación 68), al noroeste de la punta Zopilote (estación 30), entre la Boca La Tonina y el Huichoral (estación 69), en la Boca Gavilanes (estación 34) y en las proximidades de la punta Coyotes (estación 51), como se puede observar en la figura 4.7.

La plata es un elemento geológicamente raro. Sin embargo, puede ser aportado al medio ambiente marino como un contaminante proveniente de residuos de fundidoras y minas, así como de las descargas de aguas negras (Martín *et al.*, 1988; Bryan y Langston, 1992; Sanudo-Willhelmy y Flegal, 1992). Existen pocas investigaciones sobre contenido de metales pesados en sedimentos que incluyan la determinación de plata. Las concentraciones de este metal en sedimentos "limpios" formados bajo condiciones óxicas son cercanas a 0.1 ppm, y para aquellos formados en ambientes anóxicos, aproximadamente 0.5 ppm (Luoma *et al.*, 1995). Asimismo se calcula que el contenido de este metal en sedimentos con grandes alteraciones antropogénicas es mayor que 5 ppm (Forstner, 1980). Las concentraciones determinadas para la plata en las cinco estaciones con mayor valor mencionadas, son comparables a la presentada por Forstner (*op. cit.*), para sedimentos contaminados de Clyde Sea, Gran Bretaña (Tabla 4.15).

La gran mayoría de los sedimentos del sistema lagunar Bahía de Altata - Ensenada del Pabellón no se pueden categorizar como contaminados o no contaminados, debido a que se hallan entre 0.1 ppm (valor propuesto para sedimentos "limpios" en condiciones óxicas) y 5 ppm (sedimentos con grandes alteraciones antropogénicas).

Las mayores correlaciones de la plata ($r = 0.62$) fueron con el tamaño promedio del sedimento y el níquel total, además de presentar correlaciones al 99.9 % ($P < 0.001$) con otras 18 variables. La plata presentó coeficientes de correlación significativas al 95 % ($P < 0.05$) con la salinidad (en forma inversa) y el cobalto total (Tabla 4.1).

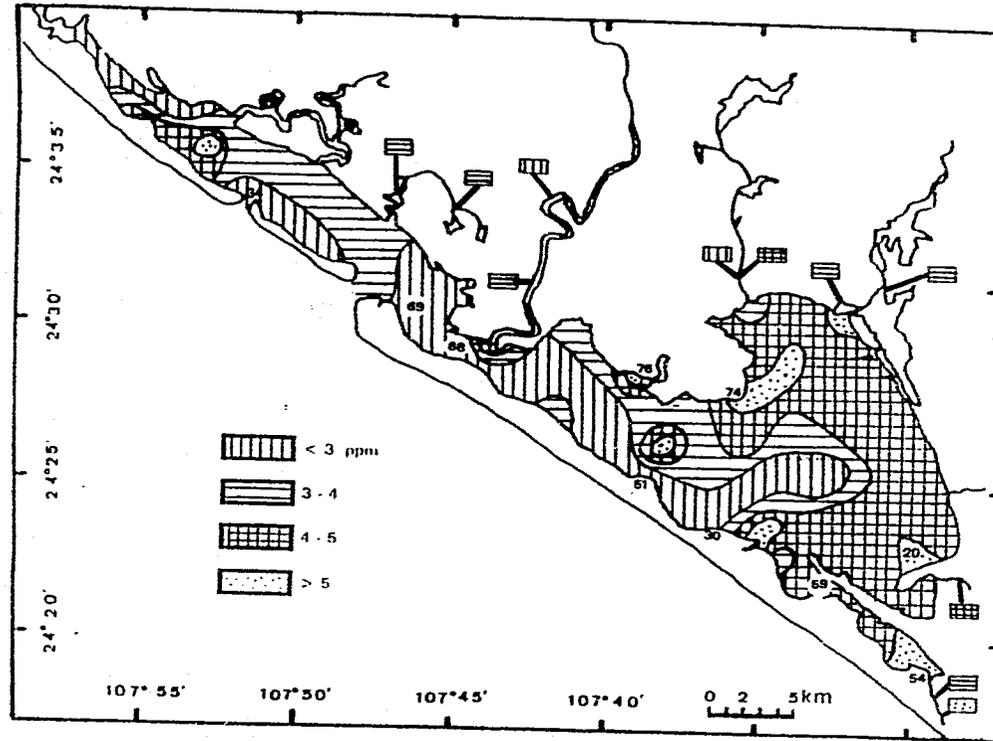


Figura 4.7.- Distribución de plata total en sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

La figura 4.8 muestra la regresión lineal entre la concentración de la plata y el tamaño medio del sedimento, observándose que las muestras de las estaciones 50 y 74 poseen mayor contenido de este metal que el esperado para el tamaño de grano correspondiente, siendo estas dos estaciones de las cinco que se señalaron como comparables a las de sedimentos contaminados de Clyde Sea (Forstner, 1980).

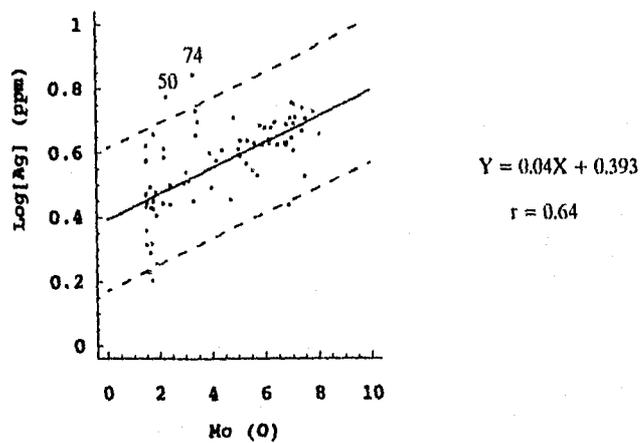


Figura 4.8.- Concentración de plata total (Log_{10}) vs. tamaño medio del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

En las figuras 4.9a y 4.9b se ilustran las concentraciones de aluminio vs. plata y litio vs. plata, logaritmizadas, observándose en ambos casos una buena correlación ($r_{Al-Ag} = 0.56$ y $r_{Li-Ag} = 0.59$) y una conducta similar; en el caso de las muestras de las estaciones 50 y 74 los valores de concentración de plata encontrados cayeron fuera de los límites de predicción del 95 % (2 veces la desviación estándar de la correlación), corroborando lo mencionado en el párrafo anterior. Estas dos localidades se caracterizan porque reciben escurrimientos agrícolas y de alguna manera la influencia de los efluentes del ingenio azucarero de Navolato.

En la tabla 4.6 se observa que los valores promedio de las concentraciones de plata total de los grupos mesohalino (4.5 ppm) y polihalino (4.0 ppm) son significativamente mayores a los del grupo euhalino (3.2 ppm). Esto puede explicarse debido a que la salinidad afecta en gran medida el comportamiento químico de la plata (Luoma *et al.*, *op. cit.*); los modelos termodinámicos muestran que fuertes complejos clorados dominan la especiación, favoreciendo la retención de plata en forma disuelta en el agua y evitando su precipitación.

Reforzando lo anterior, se puede observar en la tabla 4.9 que la concentración promedio para la Ensenada del Pabellón (4.1 ppm) es significativamente mayor que la de la Bahía de Altata (3.0 ppm). Los sedimentos de los cuerpos de agua interiores por su parte, mostraron una concentración promedio de 3.7 ppm, la cual no resultó diferente significativamente con respecto a las demás regiones del sistema lagunar (Tabla 4.9).

Aluminio (Al)

El valor promedio de contenido de Aluminio para las muestras de sedimento analizadas fue de 4.6 ± 2.1 %. El contenido varió entre 1.2 y 9.9 %. La distribución

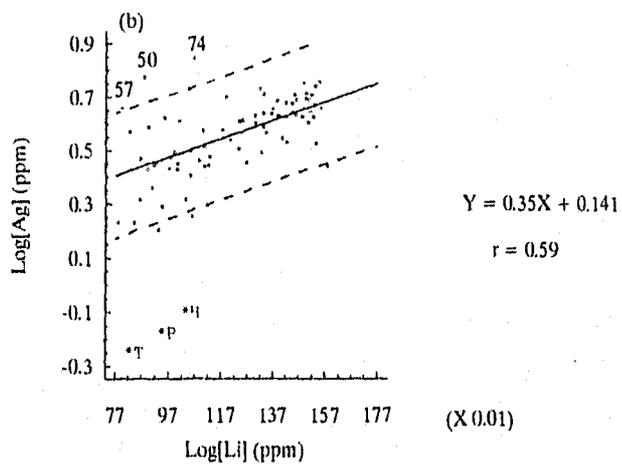
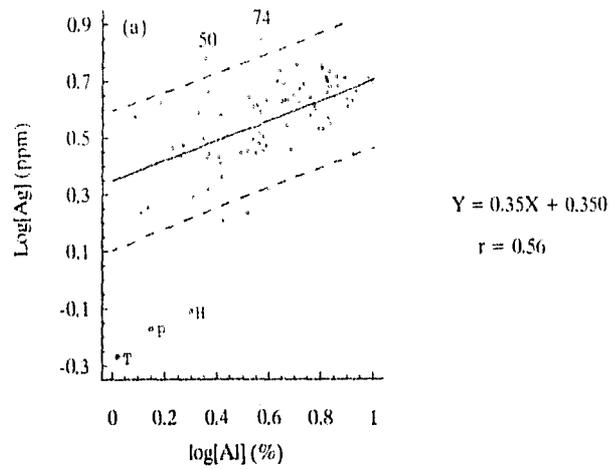


Figura 4.9.- Concentración de plata contra aluminio (a) y litio (b) totales del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

de la concentración de este metal en el área de estudio muestra que los valores mas grandes se presentaron cerca de la isla El Infiernillo (estaciones 4 y 5), en la conexión entre Bataoto y Ensenada del Pabellón (estación 12b), en el centro y sureste de la Ensenada del Pabellón (estaciones 63 y 22, respectivamente); en tanto que los valores mínimos se ubicaron en la Boca La Tonina (estación 32), entre dicha boca y el Huichoral (estación 69), en la Boca Gavilanes (estación 34), al noroeste de la Bahía de Altata (estación 36) y en la estación 44 (Fig. 4.10).

Las concentraciones de este metal en los sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón fueron similares a los registrados en las lagunas de Mitla Gro. (Páez-Osuna y Osuna-López, 1987) y Alvarado, Ver. (Rosales-Hoz *et al.*, 1986a), en nuestro país (Tabla 4.14); así como en el estuario de Gangolli, India (Pandarinath y Narayana, 1992), como se puede observar en la tabla 4.15.

Con respecto a la salinidad del agua que sobreyace a los sedimentos muestreados (Tabla 4.6), el promedio del contenido de aluminio en los grupos mesohalino (6.8 %) y polihalino (4.7 %) son significativamente mayores que el del grupo euhalino (2.9 %); manifestando el mismo comportamiento que la plata, en el sentido del papel que juega esta variable en la de-adsorción de los metales (Pandarinath y Narayana, 1992).

En la tabla 4.9 se observa que la concentración promedio de aluminio en los sedimentos obtenidos en la laguna de Altata (2.7 %) fue menor que aquellos de la Ensenada del Pabellón (5.0 %) y cuerpos de agua interiores (5.0 %). Esto se explica porque en las dos últimas regiones predominan los sedimentos finos (4.7 y 4.8 ϕ), en tanto que en la laguna de Altata el sedimento es más arenoso (2.3 ϕ) (Tabla 4.8), siendo el aluminio representativo del contenido de arcillas en los sedimentos (Alberts *et al.*, 1990).

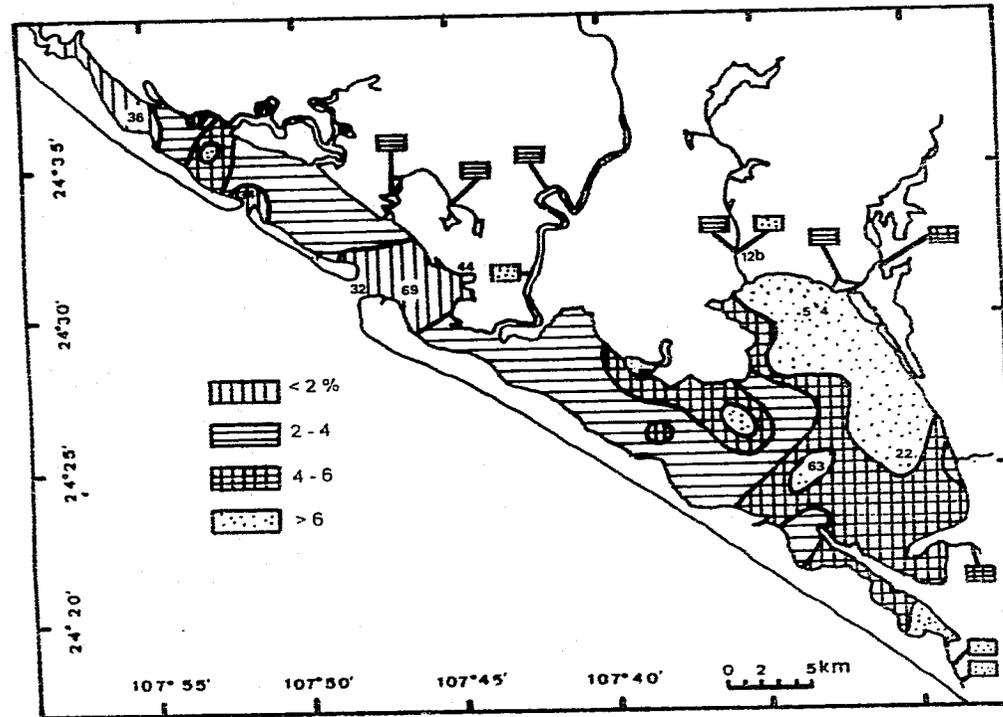


Figura 4.10.- Distribución de aluminio total en sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón

El contenido de aluminio total se correlacionó con un nivel de significancia del 95% ($P < 0.05$) en forma directa con el cobre, manganeso, plomo y zinc biodisponibles (Tabla 4.1), en tanto que al 99.9 % ($P < 0.001$), inversamente con la salinidad y el tamaño promedio del sedimento y de manera directa con el carbono orgánico, con el resto de los metales totales (excepto el cadmio, con el cual no se asoció). En la estación 8 se observó un enriquecimiento natural de aluminio, debido al porcentaje importante de la fracción arcillosa 13.23 % del sedimento (Fig. 4.11a).

Como se mencionó en la introducción de este trabajo, se ha sugerido la normalización de las concentraciones de metales pesados en los sedimentos para corregir los efectos provocados por la variabilidad granulométrica de los mismos, empleando para ello elementos "conservativos" como el aluminio (Carruesco y Lapaquellerie, 1985; Din, 1992; Schropp *et al.*, 1990) y el litio (Loring, 1990). Por esta razón se determinaron las concentraciones de estos dos metales en los sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, observándose en la figura 4.11b la buena correlación entre ellos ($r = 0.82$). Con respecto a los otros metales detectados, serán discutidos en la sección correspondiente a cada uno de ellos.

Cadmio (Cd)

Las concentraciones de cadmio total en los sedimentos del área de estudio fueron pequeñas, de tal manera que el método empleado sólo detectó este metal en 25 de las 77 muestras analizadas (32 %), correspondiendo solamente 3 de ellas a la Bahía de Altata (estaciones 35, 39 y 42). La concentración de este metal osciló entre aquellos valores por debajo del límite de detección del método y 1.3 ppm, con un promedio de 0.5 ± 0.4 ppm (anexo III).

Los valores más altos de cadmio total se ubicaron en la estación 74, el canal de navegación de la Bahía de Altata (estación 35), el estero Pericón (estación 76), en

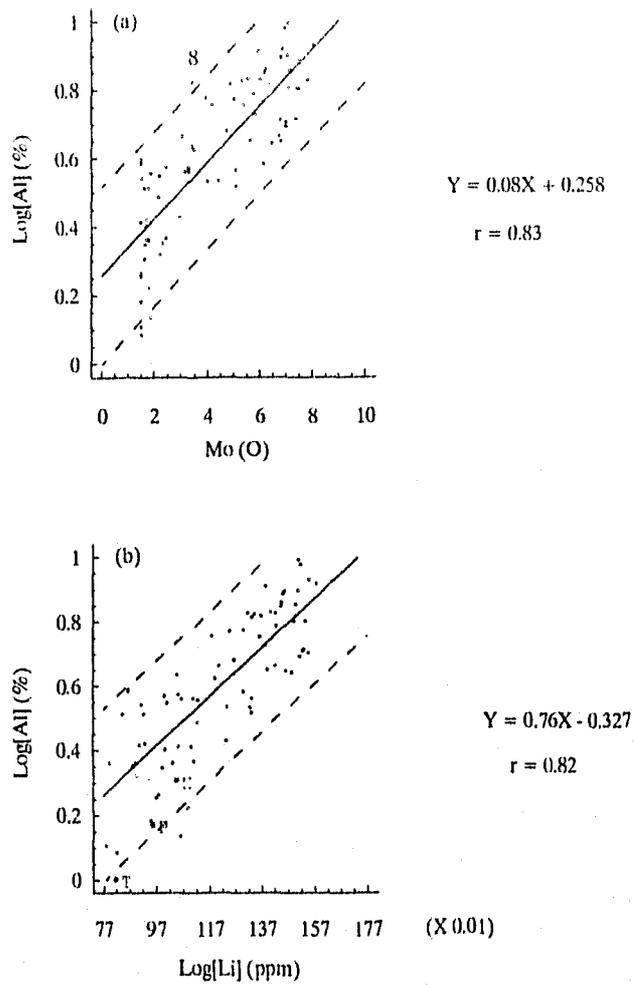


Figura 4.11.- Concentración de aluminio total contra tamaño promedio (a) y litio (b) total del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

la boca del estero de Ponce (estación 54) y en el centro de la Ensenada del Pabellón (estación 28), como se puede observar en la figura 4.12.

Las estaciones 54, 74 y 76, con altas concentraciones de cadmio, reciben los drenes de los campos agrícolas que se ubican a su alrededor. Algunos fertilizantes utilizan este metal como parte de su composición (Villanueva y Botello 1992); según Alloway (1990), el contenido de este metal en fertilizantes fosfatados varía entre 0.1 y 170 ppm.

Por otra parte, Hamouda y Wilson (1989), sugieren que las altas concentraciones de cadmio se relacionan al tráfico de lanchas a través de los cuerpos de agua, lo que podría explicar su alto contenido en el canal de navegación de la Bahía de Altata.

Las concentraciones de cadmio total en los sedimentos del sistema lagunar Altata - Ensenada del Pabellón son menores a las reportadas en sedimentos de la laguna Chautengo, Gro. (Páez-Osuna et al., 1984), puerto de Mazatlán, Sin. (Osuna-López et al., 1986) y de arroyos que desembocan en la Bahía de Todos Santos, B. C. (Rosales-Hoz et al., 1994), en México (Tabla 4.14) y a las sugeridas para sedimentos "limpios" de Clyde Sea, Gran Bretaña (Forstner, 1980) (Tabla 4.15); y son comparables a las encontradas en sedimentos del río Coatzacoalcos (Páez-Osuna et al., 1986) y la laguna Sontecomapan, Ver. (Ponce et al., 1994), Ceuta, Sin. (Osuna-López, 1981) y Golfo de Thermaikos, Grecia (Voutsinou-Talladouri y Varnavas, 1995).

El cadmio total presentó correlaciones significativas al 95 % ($P < 0.05$), con el carbono orgánico, carbonatos, manganeso total y biodisponible (inversa en ambos casos), níquel total y zinc biodisponible; en tanto que al 99.9 % ($P < 0.001$), con la salinidad, plata y vanadio totales, plomo total y biodisponible, cadmio, cobalto y níquel biodisponibles. Siendo los coeficientes de correlación menores de 0.48

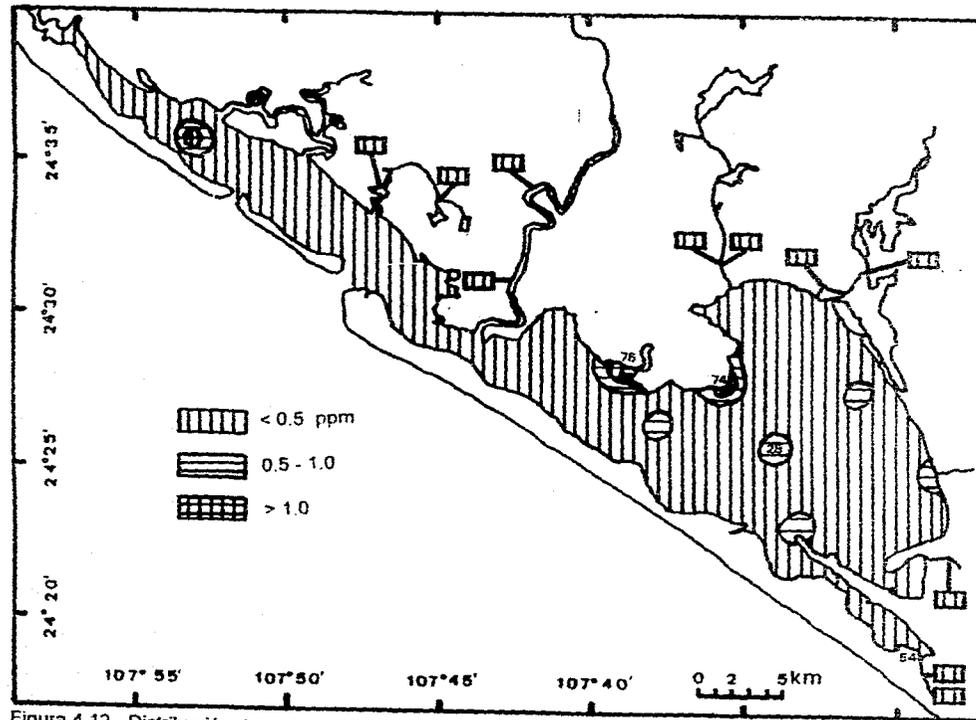


Figura 4.12 - Distribución de cadmio total en sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

(Tabla 4.1), a excepción del coeficiente relacionado con el cadmio biodisponible ($r = 0.62$).

El contenido de cadmio en los sedimentos definidos como anóxicos ($O_2 < 10^{-6}$ M), es significativamente menor que el de los sedimentos óxicos ($2 \times 10^{-4} > O_2 > 10^{-4}$ M) (Tabla 4.3), sugiriendo que la concentración de oxígeno puede jugar un papel importante en la de-adsorción de este metal a partir de los sedimentos, o que evite su precipitación (Byrd *et al.* 1990).

Cobalto (Co)

Las concentraciones de cobalto total variaron entre 8.2 y 37.1 ppm, con un promedio de 17.4 ± 5.5 ppm (anexo III). Los valores más altos se localizaron en el estero el Pericón (estación 76), en la parte central de la Ensenada del Pabellón (estaciones 29 y 62), y en la región de la boca Gavillanes (estaciones 33 y 34) (Fig. 4.13), mientras que las concentraciones menores se ubicaron en la región comprendida por La Figueroa, Las Ratas y Punta Coyotes (estaciones 48, 49, 51 y 67) y en la parte sur de Punta Zopilote (estación 58).

Las altas concentraciones en el estero y la ensenada están asociadas al aporte de material proveniente de los campos agrícolas que circundan el complejo lagunar, y por tanto a los fertilizantes empleados en esta actividad. De acuerdo con Alloway (1990), el contenido de cobalto en fertilizantes fosfatados varía entre 1 y 12 ppm.

El contenido de cobalto total en los sedimentos detectado en este trabajo es similar al encontrado para las lagunas Chaulengo, Gro. (Páez-Osuna *et al.*, 1984), Ceuta, Sin. (Osuna-López, *op. cit.*), Alvarado (Rosales-Hoz *et al.*, 1986a) y Sontecomapan, Ver. (Ponce *et al.*, *op. cit.*) y el puerto de Mazatlán, Sin. (Osuna-López *et al.*, 1986), en México (Tabla 4.14) y al dado para sedimentos del Golfo de Thermaikos, Grecia

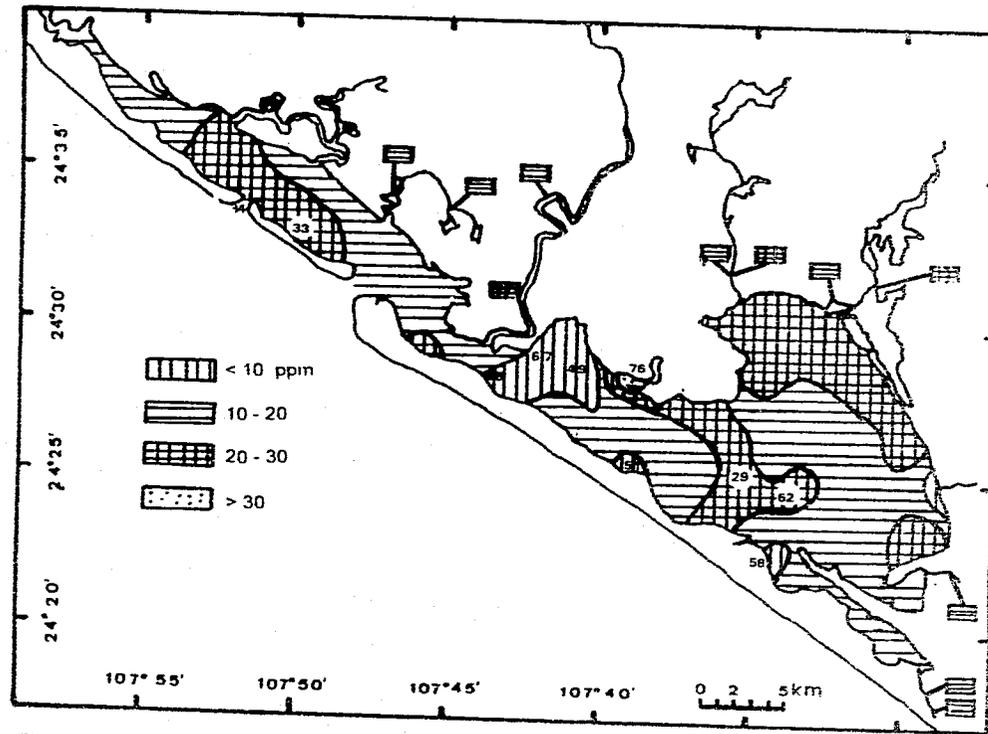


Figura 4.13.- Distribución de cobalto total en sedimentos del sistema lagunar Alfata-Ensenada del Pabellón

(Voutsinou-Taliadouri y Varnavas, 1995), y del estuario de Gangolli, India (Pandarinath y Narayana, 1992) (Tabla 4.15).

El cobalto total se correlaciona significativamente al 95 % ($P < 0.05$), con la plata y al 99.9 % ($P < 0.001$), con el carbono orgánico, tamaño promedio del sedimento, con el resto de los metales totales (a excepción del manganeso, con quien no presenta correlación), y con el zinc biodisponible. Los más altos coeficientes ($r = 0.58$), corresponden a cromo y cobre totales. Con respecto al tamaño promedio del sedimento, el coeficiente de correlación fue de 0.51 (Fig. 4.14a), observándose que las estaciones 29, 33, 34 y 76 presentan un enriquecimiento anómalo, evidenciado por las concentraciones de cobalto mayores a las esperadas de acuerdo al tamaño promedio del sedimento, según los límites de predicción del 95 %. La estación 29 se comporta de la misma manera con respecto a la regresión lineal del cobalto contra el carbono orgánico (Fig. 4.14b).

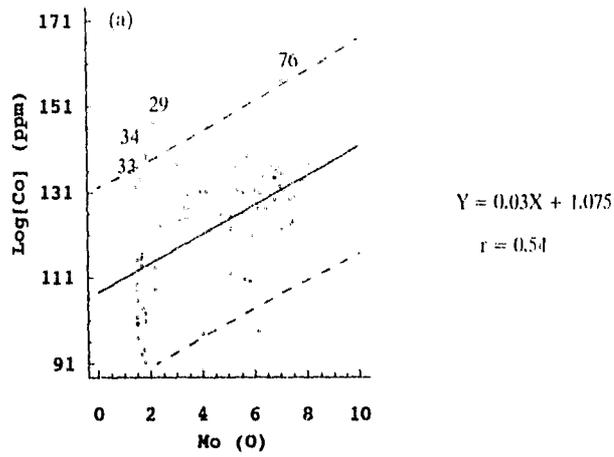
Con respecto a la correlación con aluminio (Fig. 4.15a) y litio (Fig. 4.15b), se observa el mismo enriquecimiento anómalo para las estaciones 29, 33, 34 y 36, con excepción de la estación 33 en el caso de litio, en donde se incluye la estación 30

Cromo (Cr)

La concentración promedio de cromo total en los sedimentos del sistema lagunar Altata - Ensenada del Pabellón fue de 15.7 ± 3.9 ppm. Los valores oscilaron entre 8.9 y 28.0 ppm (anexo III). Las máximas concentraciones se ubicaron en los esteros Carnevaca (estación 70) y El pericón (estación 76), en la Atascosa (estaciones 20 y 71) y en la margen este de la Ensenada del Pabellón (estación 72), en tanto que las más bajas se localizaron en la boca La Tonina (estación 32), en el canal de navegación al noroeste de la Ensenada del Pabellón (estación 66), al norte de Punta Zopilote (estación 30), al centro de la ensenada (estación 27) y en Punta Paredones (estación 57) (Fig. 4.16).

(x 0.01)

72



(x 0.01)

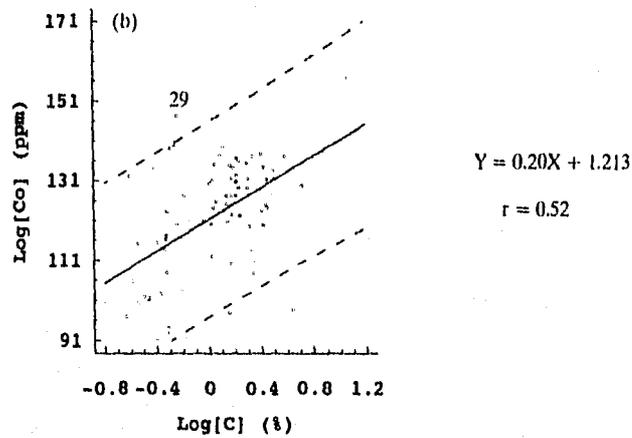
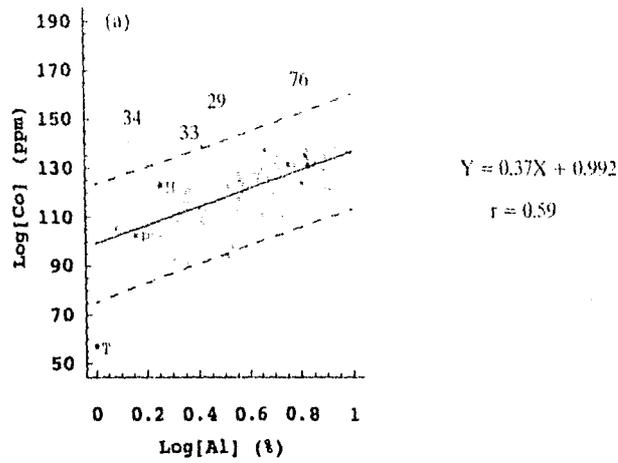


Figura 4.14.- Concentración de cobalto total contra tamaño promedio (a) y carbono orgánico (b) del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

(x 0.01)

73



(x 0.01)

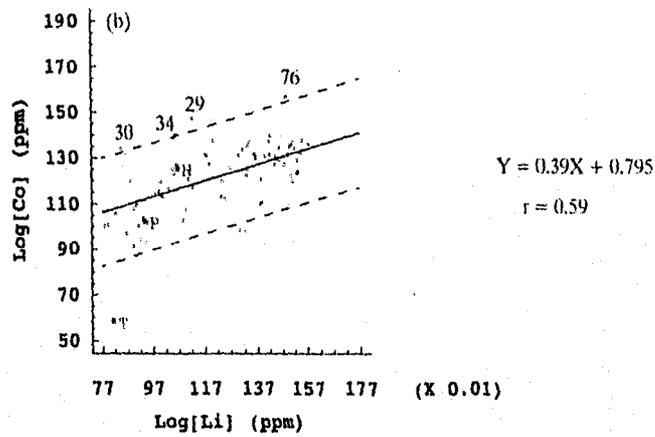


Figura 4.15.- Concentración de cobalto contra aluminio (a) y litio (b) totales del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

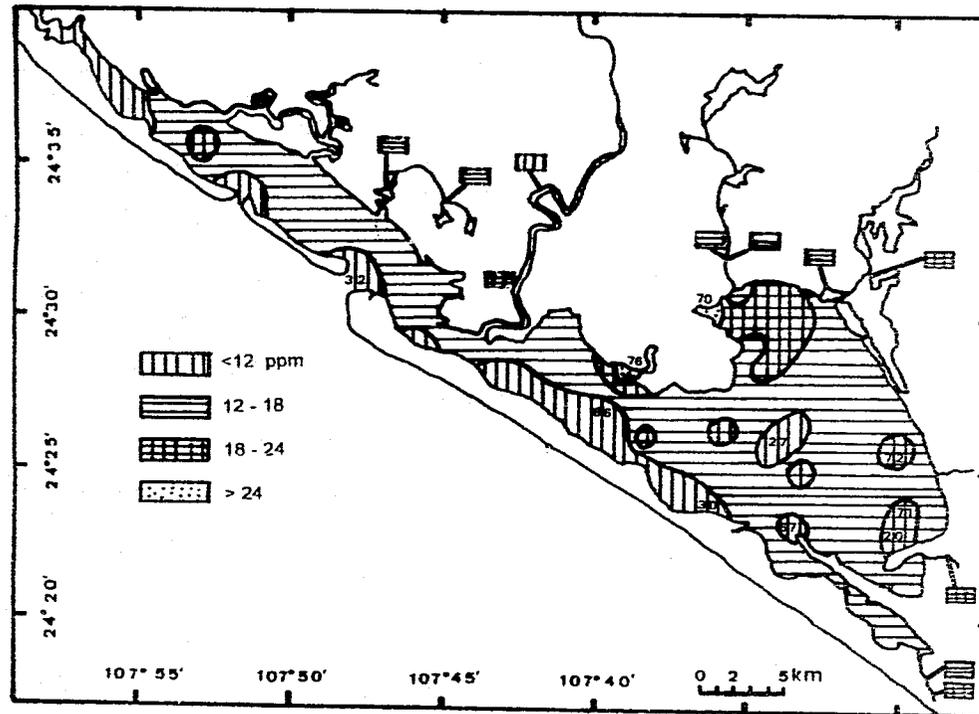


Figura 4.16.- Distribución de cromo total en sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

Las zonas de mayor concentración de este metal están localizadas principalmente en la Ensenada del Pabellón, estando asociadas al aporte de material proveniente de los campos agrícolas (Aboul-Dahab, 1989; Villanueva y Botello, 1992), de acuerdo con Alloway (1990), el contenido de cromo en fertilizantes fosfatados varía entre 66 y 245 ppm.

El contenido de cromo en este sistema lagunar es menor al encontrado en otros cuerpos de agua costeros en el país (Osuna-López, 1981; Páez-Osuna *et al.* 1984; Rosales-Hoz *et al.*, 1986a) (Tabla 4.14) y del mundo (Pandarinath y Narayana, 1992; Voutsinou-Taliadouri y Varnavas, 1995), incluyendo sedimentos "limpios" de Clyde Sea, Gran Bretaña (Forstner, 1980), como se puede observar en la tabla 4.15.

El cromo se correlaciona con un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$) con la salinidad y el oxígeno disuelto en forma inversa y con el manganeso total y plomo biodisponible en forma directa (Tabla 4.1). En tanto que, con un nivel de significancia del 99.9 % ($P < 0.001$), se correlaciona inversamente con el tamaño promedio del sedimento y directamente con el carbono orgánico, zinc biodisponible y con el resto de los metales totales (a excepción del Cd, con el cual no se correlaciona). Los coeficientes de correlación (r) con el tamaño promedio del sedimento, expresado en unidades ϕ , fue de 0.69 (Fig. 4.17a) y con el cobre fue de 0.76 (Fig. 4.17b); observándose que la estación 70, además de ser la que tiene mayor concentración de este elemento, se ubica fuera del área delimitada por los límites de predicción del 95 %, al graficar cromo contra estos dos parámetros.

En las figuras 4.18a y 4.18b se observa que la estación 70 también se localiza fuera de los límites de predicción cuando se gráfica cromo total contra aluminio y litio, respectivamente. Asimismo, con respecto al aluminio la estación 76 siguió este comportamiento y en relación al litio lo mismo sucedió con la estación 50. Cabe

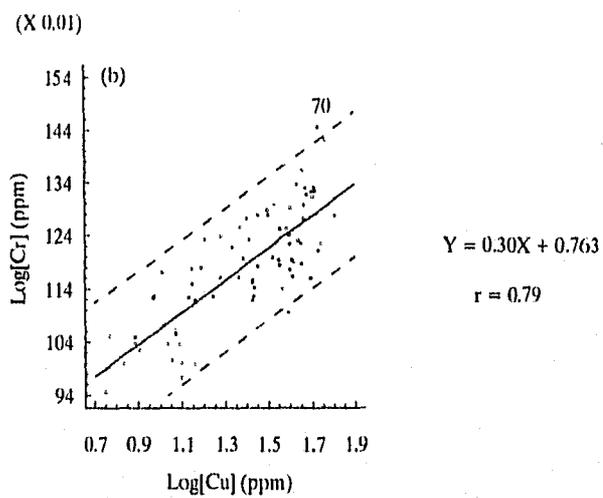
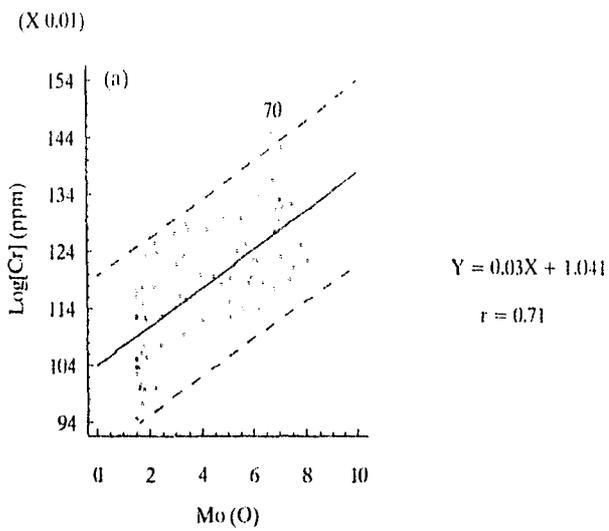
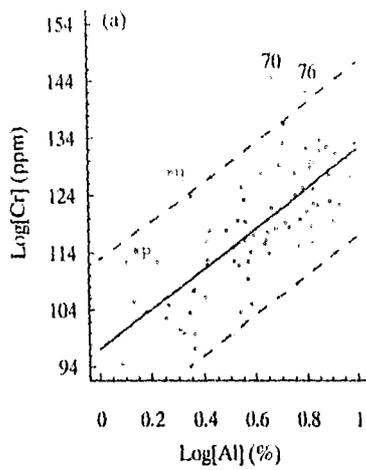


Figura 4.17.- Concentración de cromo total contra tamaño promedio (a) y cobre total (b) del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

(X 0.01)

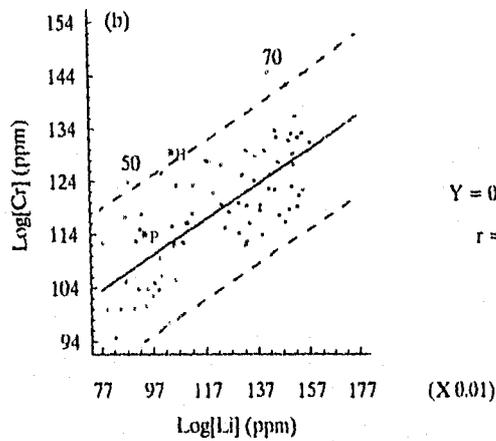
77



$$Y = 0.35X + 0.972$$

$$r = 0.73$$

(X 0.01)



$$Y = 0.33X + 0.781$$

$$r = 0.73$$

Figura 4.18.- Concentración de cromo contra aluminio (a) y litio (b) totales del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

mencionar que para ambas correlaciones también el sedimento colectado aguas arriba del río Culiacán (estación Humaya) queda por arriba de dichos límites de predicción, no así para la estación Tamazula ni para el promedio entre estas dos localidades de referencia, lo que indica que aún aquellas localidades con enriquecimiento anómalo, no pueden considerarse como contaminadas, pues están al mismo nivel que los sedimentos tomados como referencia.

En relación al contenido de oxígeno disuelto, la concentración de promedio de cromo en el ambiente subóxico es mayor (18.5 ppm) que en el supraóxico (14.7 ppm) (Tabla 4.3), ocurriendo lo contrario que para el cadmio, evidenciando el papel que juega el oxígeno en el comportamiento de los metales, el cual difiere según el elemento que se trate.

Con respecto a los grupos halinos, el grupo mesohalino presentó significativamente el mayor promedio de concentración de cromo (19.1 ppm) con respecto a los grupos oligohalino (15.1 ppm), polihalino (15.1 ppm) y euhalino (13.7 ppm) (Tabla 4.6). Lo anterior puede explicarse siguiendo el comportamiento de la plata (Luoma *et al.* 1995), sugiriendo que fuertes complejos clorados favorecen la retención de los metales en forma disuelta, evitando su precipitación.

La concentración promedio de cromo en los sedimentos de la Bahía de Altata (15.4 ppm), es significativamente menor que los encontrados para la Ensenada del Pabellón (16.2 ppm) y cuerpos de agua interiores (16.8 ppm) (Tabla 4.9). Lo anterior es reflejo del tamaño promedio del sedimento que existe en cada región, predominando los sedimentos gruesos en la bahía y los finos en la ensenada y cuerpos de agua interiores.

Cobre (Cu)

El contenido de cobre en los sedimentos del complejo lagunar osciló entre 5.6 y

63.8 ppm, con un promedio de 29.3 ± 15.5 ppm (anexo III). Los máximos valores se localizaron en la cercanía de la isla El Mapachero (estación 13), estero El Pericón (estación 76), conexión entre Bataoto y la Ensenada del Pabellón (estación 12b) y estero de Ponce (estaciones 52 y 53) (Fig. 4.19). Mientras que las mínimas concentraciones se ubicaron en El Huichoral (estación 31), boca La Tonina (estación 32), Punta Zopilote (estación 30) y en la parte noroeste de la Bahía de Altata (estaciones 36 y 38).

Las máximas concentraciones se ubican en zonas de aporte de material agrícola proveniente de los campos de cultivo en la región, en donde, de acuerdo con Páez *et al.* (1993b), se emplean fungicidas metálicos con contenido de cobre (cupravit) y otros metales. Además, según Alloway (1990), los fertilizantes fosfatados contienen entre 1 y 300 ppm de este metal.

Los valores de contenido de cobre obtenidos en este trabajo son comparables a los encontrados en otros cuerpos de agua costeros de México (Páez-Osuna *et al.*, 1986; Rosales-Hoz *et al.*, 1986b; Ponce *et al.*, 1994) y del mundo (Loring, 1990; Pandarinath y Narayana, 1992). Sin embargo, el promedio de la concentración de este metal en el complejo lagunar Altata - Ensenada del Pabellón es mayor que el sugerido por Páez-Osuna *et al.* (1987) para la laguna de Milla, Gro. y por Forstner (1980) para sedimentos "limpios" de Clyde Sea, Gran Bretaña (Tablas 4.14 y 4.15).

La concentración de cobre se correlaciona con un nivel de significancia de 99.9 % ($P < 0.001$) inversamente con la salinidad y el tamaño promedio del sedimento, y directamente con el carbono orgánico, con los metales pesados totales (a excepción de cadmio, con el cual no se correlaciona), y con cobre, plomo y zinc biodisponibles. La figura 4.20a muestra la regresión lineal entre el cobre y el tamaño promedio del sedimento, observándose que la estación 12 presenta un valor mayor al esperado para este tamaño de sedimento.

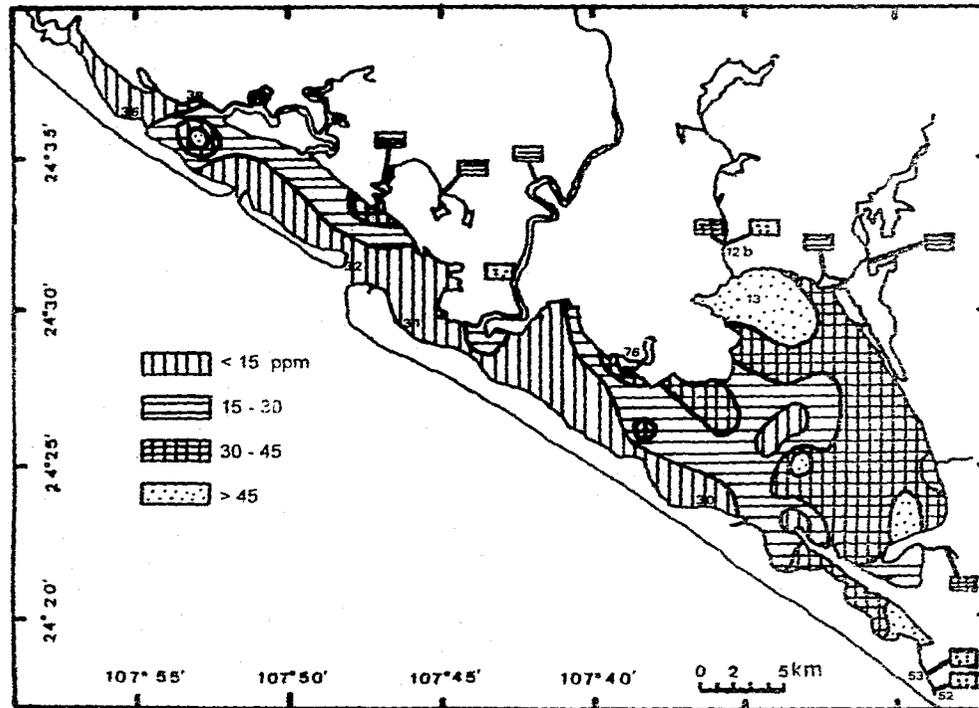


Figura 4.19.- Distribución de cobre total en sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

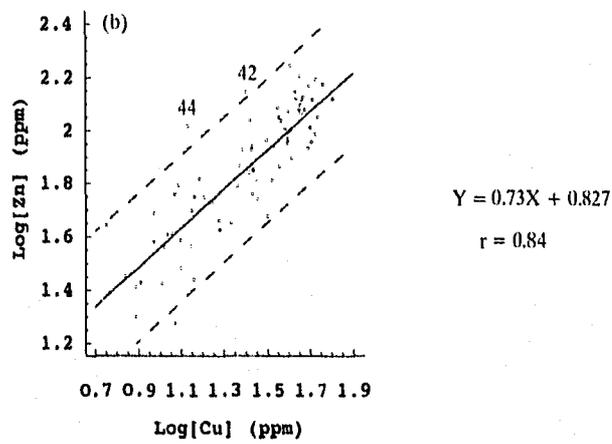
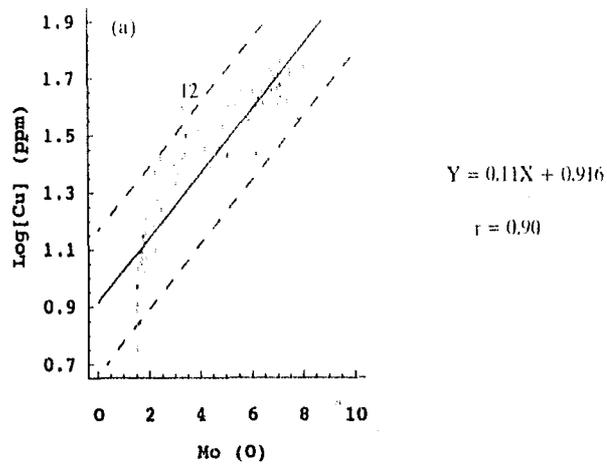


Figura 4.20.- Concentración de cobre total contra tamaño promedio (a) y zinc total (b) del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

El relativamente alto coeficiente de correlación entre el cobre y zinc ($r = 0.81$), sugiere que aunque estos elementos pertenecen a grupos químicos diferentes en la tabla periódica (cobre del grupo IV y zinc del grupo III), bajo las mismas condiciones de Eh y pH puede existir co-precipitación (El-Sayed *et al.*, 1988). Sin embargo, en condiciones óxicas el cobre tiene mayor tendencia a la quelación que el zinc, por lo que en condiciones variables de redox, debe reflejarse un cambio en las proporciones de estos metales en la fase sólida (Páez-Osuna y Osuna-López, 1987), observándose esto en la estaciones 42 y 44 (Fig. 4.20b).

En la figura. 4.21a se muestra la regresión lineal entre el aluminio y el cobre totales, no observándose ninguna anomalía, nótese además que los valores de concentración de estos metales para la estación Tamazula, prácticamente están sobre la línea de ajuste. En lo relativo al Litio (Fig. 4.21b), la estación 12 sigue el mismo comportamiento que cuando se graficó contra el tamaño medio del sedimento, evidenciando un valor anómalo.

Con respecto a la salinidad del agua que sobreyace a los sedimentos muestreados, el promedio del contenido de cobre en los grupos oligohalino (35.5 ppm), mesohalino (47.4 ppm) y polihalino (28.8 ppm) son significativamente mayores que el del grupo euhalino (16.8 ppm), asimismo el grupo mesohalino posee mayor promedio que el polihalino (Tabla 4.6), reforzando lo mencionado con respecto al comportamiento de la plata y el cromo, en el sentido del papel que juegan los compuestos clorados en la solubilidad de los metales.

La concentración promedio de cobre en los sedimentos de la Bahía de Altata (15.2 ppm) son significativamente menores que los de la Ensenada del Pabellón (32.1 ppm) y los cuerpos de agua interiores (36.8 ppm). En tanto que de acuerdo al criterio relacionado a las áreas de manglar, el contenido promedio de cobre es mayor en aquellas estaciones asociadas a manglar (39.4 ppm) que el promedio del

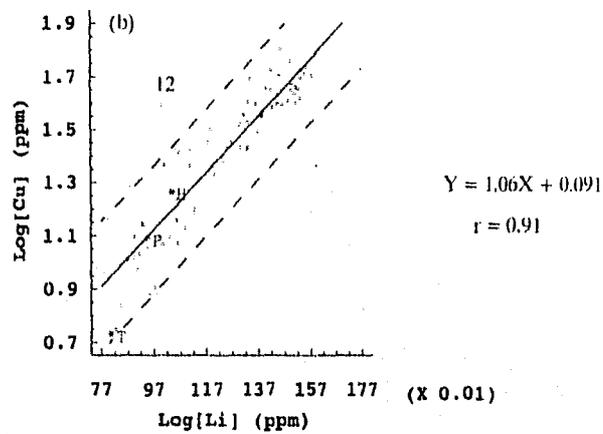
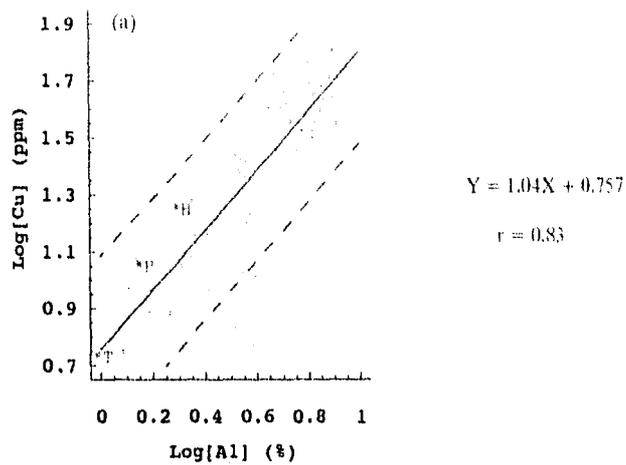


Figura 4.21.- Concentración de cobre contra aluminio (a) y litio (b) totales del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabelón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

resto de las estaciones (26.0 ppm). Este comportamiento esta ligado con la distribución del tamaño del sedimento en estas regiones (Tablas 4.9 y 4.12).

Hierro (Fe)

El valor promedio de la concentración de hierro fue de 5.4 ± 2.2 , oscilando entre 2.0 y 13.5 % (anexo III). Los valores más grandes se detectaron al norte de Las Iguanas (estación 15), en La Atascosa (estación 71), en las proximidades del la isla El Atravesado (estación 25), en El Tetuan Viejo (estación 39) y frente al poblado Las Arenitas (estación 59); en tanto que los menores se presentaron en El Huichoral (estación 31), boca La Tonina (estación 32), río Culiacán (estación 45), centro de la Ensenada del Pabellón (estación 27) y Punta Zopilote (estación 61), como se puede observar en la figura 4.22.

El contenido promedio de hierro en los sedimentos de este sistema lagunar es mayor al reportado para en la Bahía de Ceuta, Sin. (Osuna-López, 1981) y laguna de Chautengo (Páez-Osuna *et al.*, 1984), en México (Tabla 4.14), y en el Golfo de Aqaba, Jordania (Abu-Hilal, 1993) y el estuario de Gangolli, India (Pandarinath y Narayana, 1992), en el resto del mundo (Tabla 4.15); mientras que es comparable a aquellos intervalos a promedios de la laguna de Alvarado, Ver. (Rosales-Hoz *et al.*, 1986a), en nuestro país.

La concentración de hierro se correlaciona con un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$) en forma inversa con el carbonato de calcio y cromo y níquel biodisponibles, y de manera directa con el carbono orgánico y hierro y zinc biodisponibles (Tabla 4.1), y al 99.9 % ($P < 0.001$) inversamente con el tamaño promedio del sedimento y directamente con las concentraciones totales del resto de los metales pesados (a excepción de cadmio y manganeso, con los cuales no existe correlación).

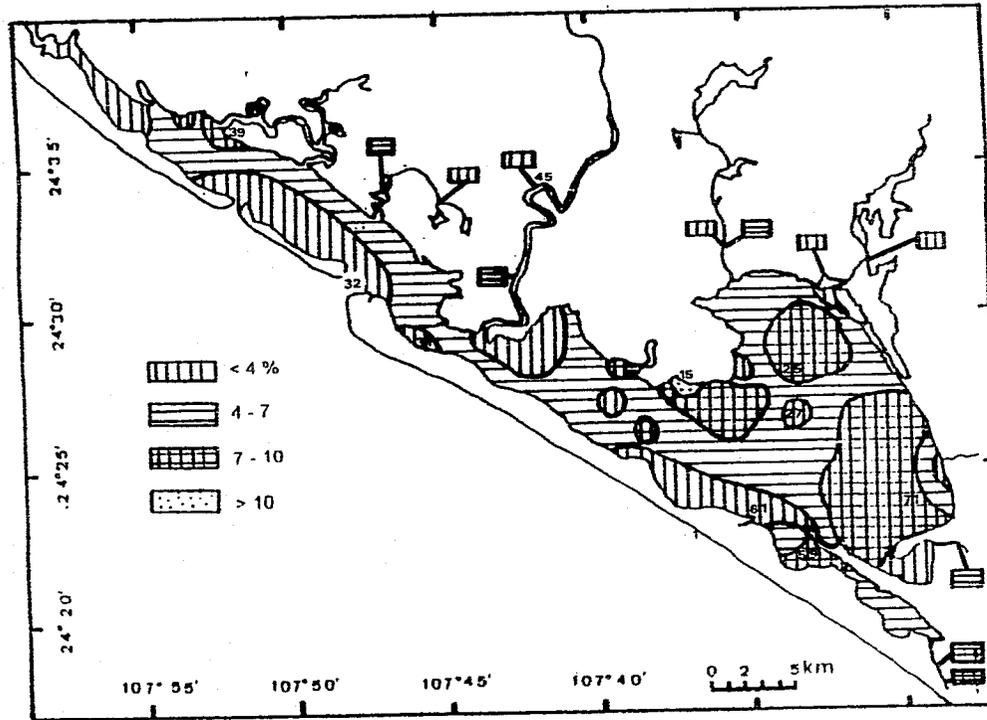


Figura 4 22. - Distribución de hierro total en sedimentos del sistema lagunar Allala-Ensenada del Pabellón.

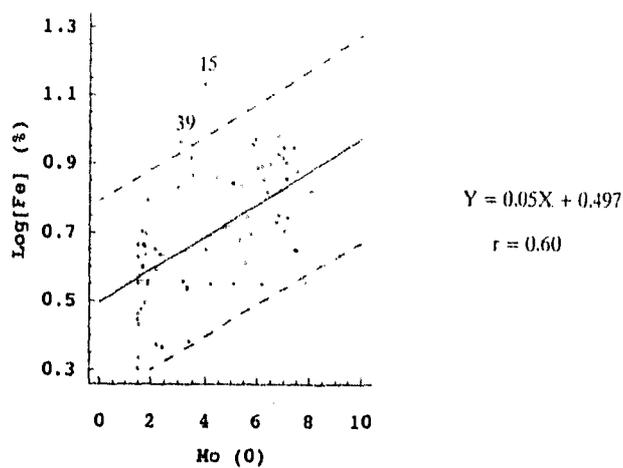


Figura 4.23.- Concentración de hierro total (Log_{10}) vs. tamaño medio del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

Las estaciones 15 y 39, además de ser dos de la cinco con mayor concentración de este elemento, presentan un enriquecimiento que no corresponde al esperado de acuerdo con la regresión lineal entre este metal y el tamaño promedio del sedimento (Fig. 4.23), manifestándose también esta anomalía en el caso de las gráficas de regresión lineal entre dicho metal y el aluminio (Fig. 4.24a) y el litio (Fig. 4.24b).

El grupo oligohalino presentó un valor promedio de hierro (3.9 %) significativamente menor que el detectado en las estaciones que conforman los grupos meso (6.8 %) y polihalino (5.8 %) (Tabla 4.6). Este comportamiento sugiere que para bajas

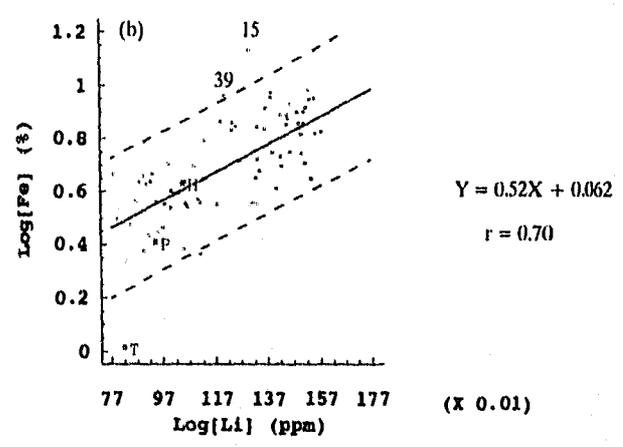
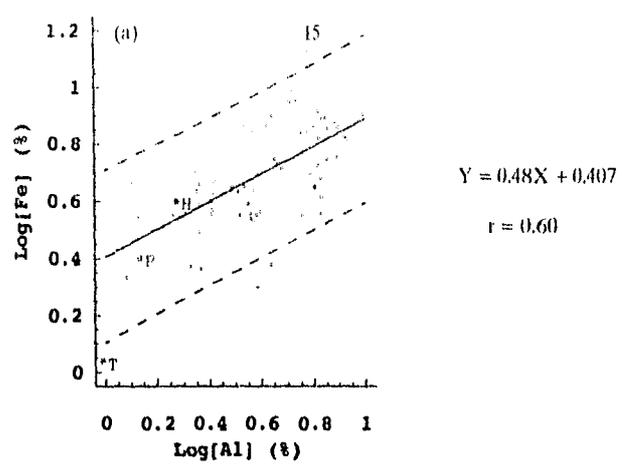


Figura 4.24.- Concentración de hierro contra aluminio (a) y litio (b) totales del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

salinidades existen otros factores que intervienen en la ad/de-adsorción de los metales.

Litio (Li)

Las concentraciones de litio total en los sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón oscilaron entre 6.0 y 37.8 ppm con un promedio de 19.1 ± 9.6 ppm (anexo III). Los máximos valores se presentaron en el centro de la Ensenada del Pabellón (estación 63), en la conexión entre Bataoto y la ensenada (estación 12b), La Atascosa (estación 20) y en el estero de Ponca (estaciones 53 y 54), en tanto que los valores mínimos se detectaron entre El Huichoral y la boca La Tonina (estaciones 31, 32 y 69), al norte de las puntas Paredones (estación 57) y Zopilote (estación 30) y en Las Ratras (estación 67) (Fig. 4.25).

Existe poca literatura sobre las concentraciones de litio en el sedimento. Sin embargo, se puede observar que el valor promedio detectado para este metal en este trabajo (Tabla 4.15), es menor que el reportado para sedimentos lodosos del estero St. Lawrence, Canadá (Loring, 1990).

El litio no estando influenciado por los aportes antropogénicos de metales pesados, siendo un elemento "conservativo", que además está asociado a la composición química de algunas minerales arcillosos (Loring, *op. cit.*). Por lo anterior, este metal es utilizado en este trabajo como normalizador de la variabilidad granulométrica.

El litio total se correlacionó con un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$), inversamente con la salinidad y el carbonato de calcio y con el 99.9 % ($P < 0.001$), en forma inversa con el tamaño promedio de los sedimentos y de manera directa con el carbono orgánico, con el resto de los metales totales (a excepción del cadmio y manganeso con los cuales no se correlacionó), y con plomo y zinc biodisponibles.

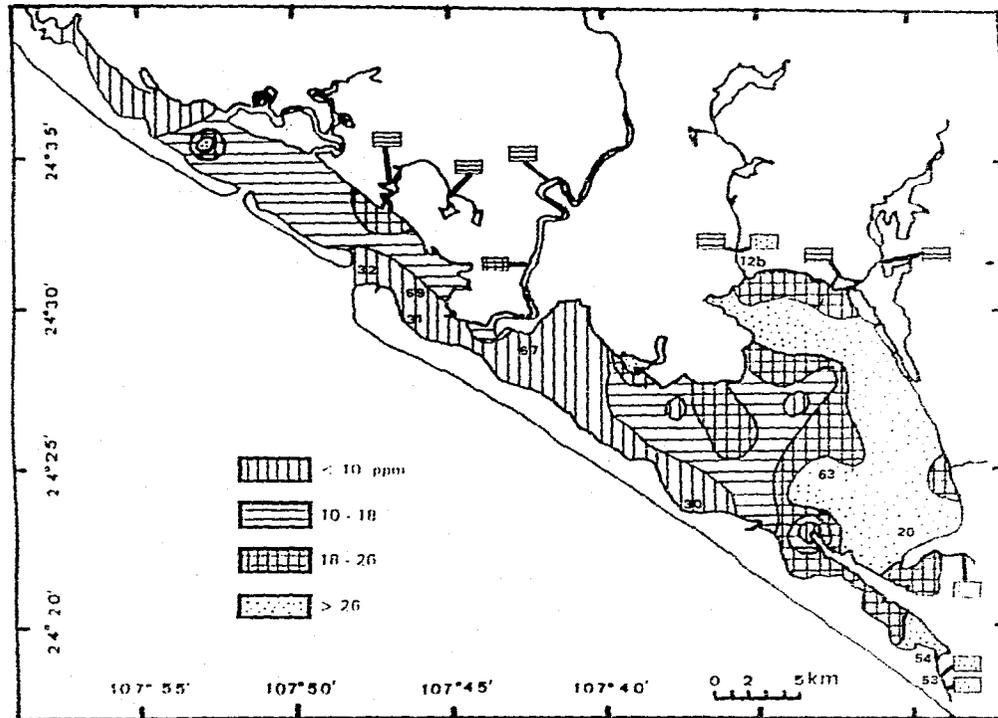


Figura 4.25. Distribución de litio total en sedimentos del sistema lagunar Altala Enseñada del Pabellón

Al igual que en el caso de aluminio, la estación 8 presentó una concentración mayor que la esperada para el tamaño medio del sedimento (Fig. 4.26), explicándose de la misma manera, a través del contenido de arcillas con las cuales el litio está asociado.

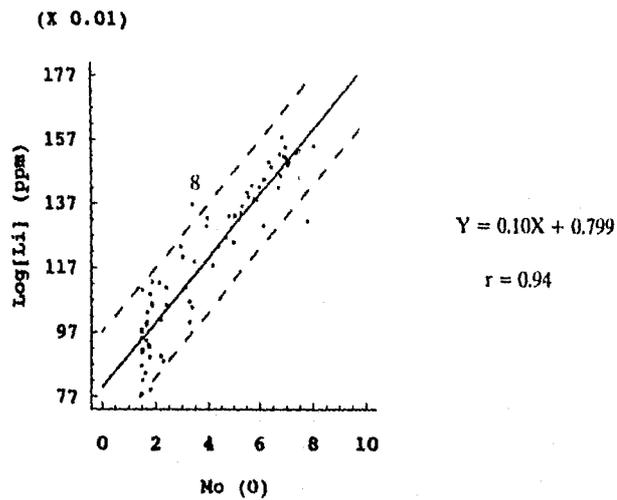


Figura 4.26.- Concentración de litio total (Log_{10}) vs. tamaño medio del sedimento del sistema lagunar Aitata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

El grupo mesohalino presentó una concentración promedio de litio (31.5 ppm), significativamente mayor que aquellas tanto del grupo Oligohalino (18.6 ppm), como de los grupos Polihalino (19.1 ppm) y Euhalino (13.2 ppm), siguiendo el mismo comportamiento que la mayoría de los metales totales detectados en este trabajo.

La Ensenada del Pabellón presentó un contenido promedio de litio significativamente mayor (20.9 ppm) que la Bahía de Altata (11.9 ppm), como resultado de la mayor concentración de arcillas en la ensenada que en la bahía.

Manganeso (Mn)

La concentración total de manganeso en los sedimentos del complejo lagunar Altata - Ensenada del Pabellón variaron entre 97 y 8166 ppm, con un promedio de 925 ± 1127 . Los máximos contenidos se detectaron en Las Puentes y sus proximidades (estaciones 1, 2, 3 y 4) y en el río Culiacán (estación 46); mientras que los mínimos se presentaron en El Tetuan Nuevo y sus alrededores (estaciones 35, 38 y 60), Punta Coyotes (estación 51) y al sur de la Punta Zopilote (estación 58) (Fig. 4.27).

Las estaciones 1, 2, 3 y 4 reciben los drenes de los campos agrícolas circundantes, a través de la laguna interior Chiricahueto. En dicha actividad se emplea maneb, un fungicida enriquecido en manganeso (Páez-Osuna *et al.*, 1993b). De acuerdo con Alloway (1990), la concentración de este metal en fertilizantes fosfatados oscila entre 40 y 2000 ppm.

En cuanto a la estación 46, el alto contenido de manganeso puede estar relacionado con el proceso de disminución de energía de la corriente de las aguas del río Culiacán al acercarse a su desembocadura en el sistema lagunar, provocando precipitación. Krumgalz *et al.* (1990) mencionan que al llevarse a cabo el mezclado de agua dulce de los ríos con agua más salada y dependiendo de la

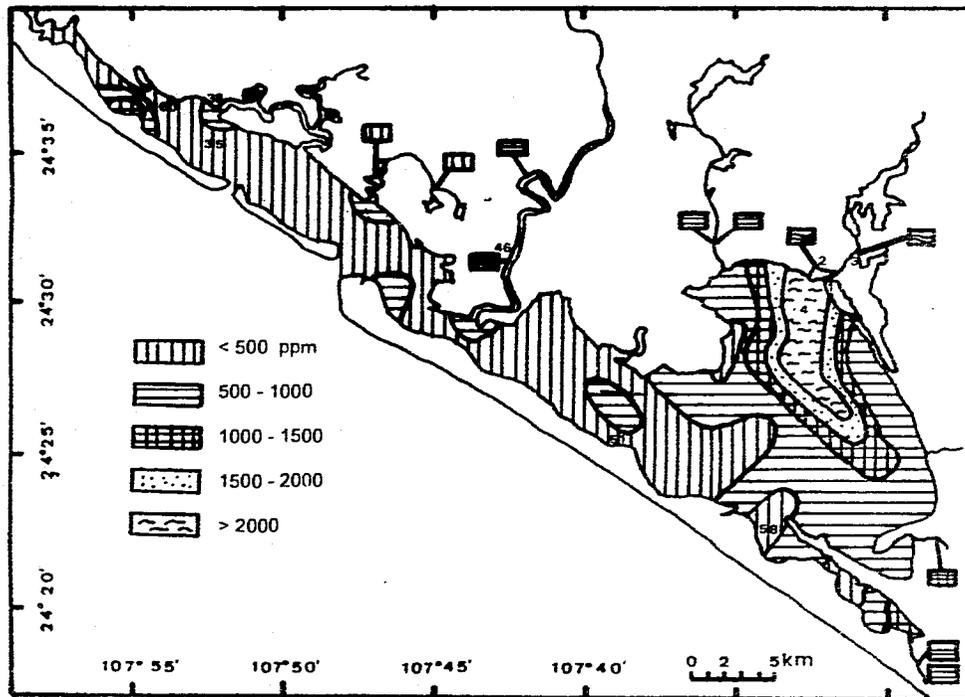


Figura 4.27.- Distribución de manganeso total en sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

fuerza iónica total y pH, ocurren algunos procesos físico-químicos tales como la precipitación y disolución, coagulación y peptización, adsorción y de-adsorción.

Los valores encontrados para la concentración de manganeso en este sistema lagunar son mayores a los reportados para la Bahía de Ceuta, Sin. (Osuna-López, 1981) y las lagunas Chautengo (Páez-Osuna *et al.*, 1984) y Mitla, Gro. (Páez-Osuna y Osuna-López, 1987) en México (Tabla 4.14), y en Golfo de Aqaba, Jordania (Abu-Hilal, 1993) y sedimentos "contaminados" de Clyde Sea, Gran Bretaña (Forstner, 1980) como se puede observar en la tabla 4.15. Sin embargo, los valores detectados en la zona de estudio son similares a los de Laguna Alvarado, Ver. (Rosales-Hoz *et al.*, 1986a) y del Golfo de Thermaikos, Grecia (Voutsinou-Taliadouri y Varnavas, 1995)

Las concentraciones totales de manganeso se correlacionan con un nivel de significancia del 95% ($P < 0.05$) en forma inversa con el tamaño promedio del sedimento y de manera directa con el cromo, en tanto que al 99.9 % ($P < 0.001$) inversamente con la salinidad y el cadmio total y directamente con el manganeso biodisponible; siendo esta última correlación la que presenta mayor coeficiente ($r = 0.94$). Las estaciones de mayor concentración de este metal (1, 2 y 3) presentan enriquecimientos mayores a los correspondientes de acuerdo a su tamaño medio de sedimento (Fig. 4.28a), y a su contenido de aluminio (Fig. 4.29a) y de litio (Fig. 4.29b). La estación 36 también sobrepasa los límites de predicción del 95 % de la regresión lineal entre el manganeso total y el aluminio.

A pesar del alto coeficiente de correlación entre los valores de manganeso total y biodisponible (Fig. 4.28b), la estación 37 difiere del comportamiento al tener un alto porcentaje de manganeso biodisponible (80.9 %) (anexo V), cabe mencionar que esta estación, ubicada en el extremo noroeste de la Bahía de Altata, es donde se detectó la mayor salinidad, sugiriendo que esta variable juega un papel importante en la fracción química en la que se encuentren los metales.

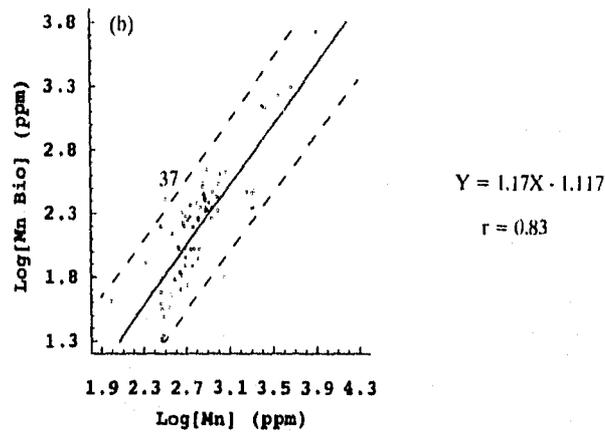
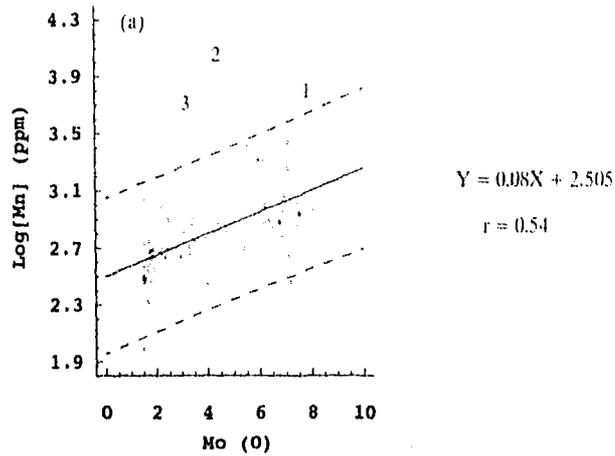


Figura 4.28.- Concentración de manganeso total contra tamaño promedio (a) y manganeso biodisponible (b) del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

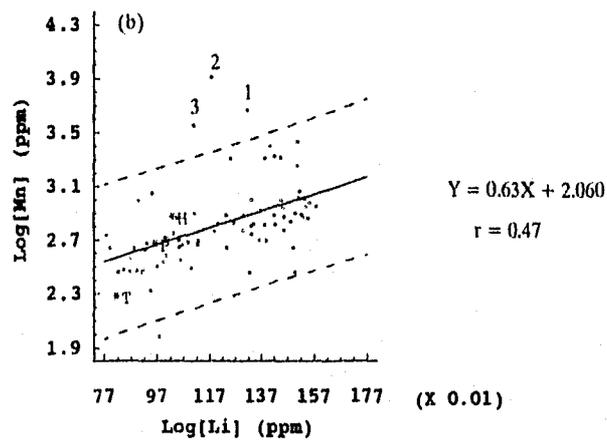
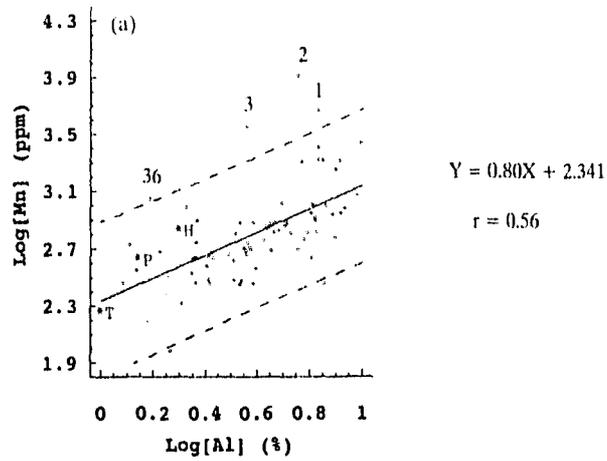


Figura 4.29.- Concentración de manganeso contra aluminio (a) y litio (b) totales del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

En relación a los grupos halinos, se encontró que el contenido promedio de este metal en el grupo polihalino (793 ppm) es mayor que el grupo euhalino (436 ppm) (Tabla 4.6), reforzándose la hipótesis acerca de que los compuestos clorados favorecen la solución y evitan la precipitación de algunos metales.

El promedio de las concentraciones de manganeso en la Bahía de Altata (436 ppm) es menor al detectado para la Ensenada del Pabellón (884 ppm) (Tabla 4.9), lo que se explica a través de la distribución del tamaño de los sedimentos, siendo más finos en la ensenada, además del mayor aporte de material de los campos agrícolas en esta área.

Níquel (Ni)

La concentración de níquel total en los sedimentos del sistema lagunar Altata - Ensenada del Pabellón osciló entre no detectable y 30.5 ppm, con un promedio de 14.7 ± 8.0 ppm. Las máximas concentraciones se ubicaron en el canal de navegación de la Bahía de Altata (estación 35), La Atascosa (estaciones 20 y 21), estero El Pericón (estación 76) y en la conexión entre Bataoto y la Ensenada del Pabellón (estación 12b); en tanto que los valores más bajos se registraron en La Figueroa (estación 48), Punta Coyotes (estación 51), El Huichoral (estación 31), El Espinazo (estación 9) y en la estación 49 (Fig. 4.30).

El alto contenido de este metal en el canal de navegación se relaciona con el tráfico de lanchas a través de esta zona (Hamouda y Wilson, 1989). Mientras que el aporte de material de los campos agrícolas que circundan el complejo lagunar es evidente en las otras áreas que presentan máximos valores; según Alloway (1990), la concentración de níquel en fertilizantes fosfatados varía entre 7-38 ppm.

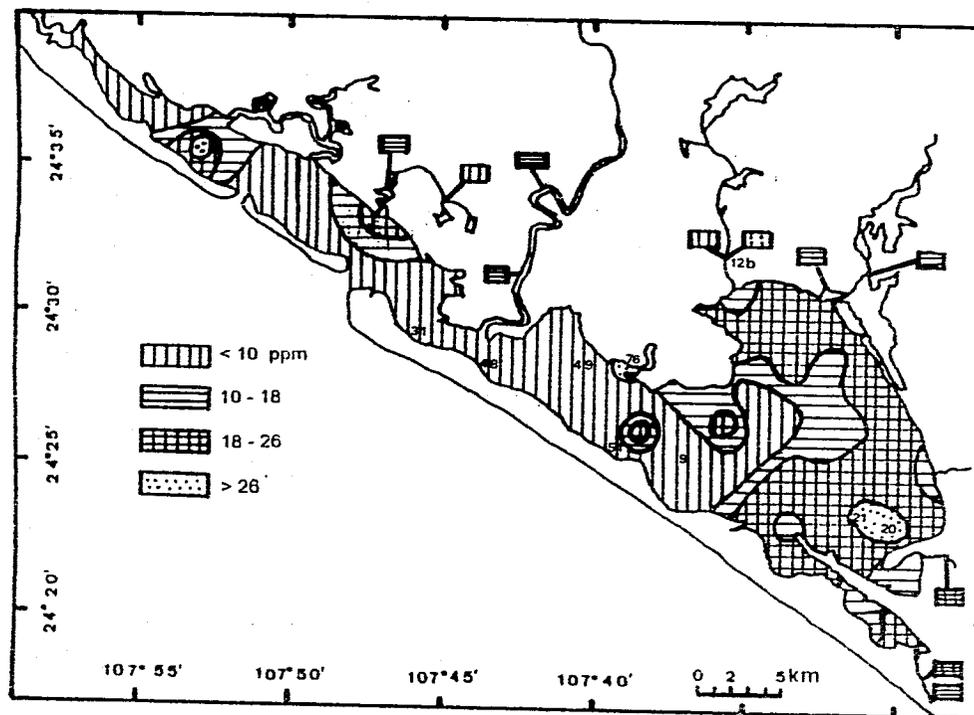


Figura 4.30.- Distribución de níquel total en sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

A nivel nacional, los contenidos de níquel total en los sedimentos del sistema lagunar Altata - Ensenada del Pabellón son comparables a los reportados para la Bahía Ceuta, Sin. (Osuna-López, 1981) y para el río Coatzacoalcos y laguna del Oslón, Ver. (Páez-Osuna *et al.* 1986) y menores a aquellos de las lagunas de Sotecomapan (Ponce *et al.*, 1994) y Alvarado, Ver. (Rosales-Hoz *et al.*, 1986a) (Tabla 4.14). Asimismo, son comparables a los registrados en el estero de Gangolli, India (Pandarinath y Narayana, 1992) y menores que en el golfo de Thermaikos, Grecia (Voutsinou-Taliaduori y Varnavas, 1995). Cabe recalcar que solamente las estaciones 35 (30.5 ppm) y 20 (30.2 ppm) sobrepasan el valor sugerido por Forstner (1980) para sedimentos "limpios" de Clyde Sea, Gran Bretaña (30 ppm) (Tabla 4.15).

Los contenidos de este níquel total se correlación con un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$) en forma inversa con la salinidad y de manera directa con cadmio total y cobre biodisponible, y al 99.9 % ($P < 0.001$) inversamente con el tamaño promedio del sedimento y directamente con la materia orgánica, con el resto de los metales totales (a excepción del manganeso, con quien no se correlacionó), y con plomo y zinc biodisponibles.

Al graficar las concentraciones de níquel contra aluminio no se observó ninguna anomalía (Fig. 4.31a); en tanto, que con respecto al litio, la estación 57 quedó por arriba de los límites de predicción del 95 % (Fig. 4.31b)

El grupo mesohalino presentó un promedio de níquel significativamente mayor (23.0 ppm) que los grupos polihalino (13.9 ppm) y euhalino (10.8 ppm) (Tabla 4.6), comportándose de manera similar que la plata, cromo, cobre y manganeso.

La concentración promedio de níquel fue mayor para la Ensenada del Pabellón (16.2 ppm) que para la Bahía de Altata (9.3 ppm) (Tabla 4.9), estando influenciada por la distribución del tamaño promedio del sedimento, siendo más finos en la

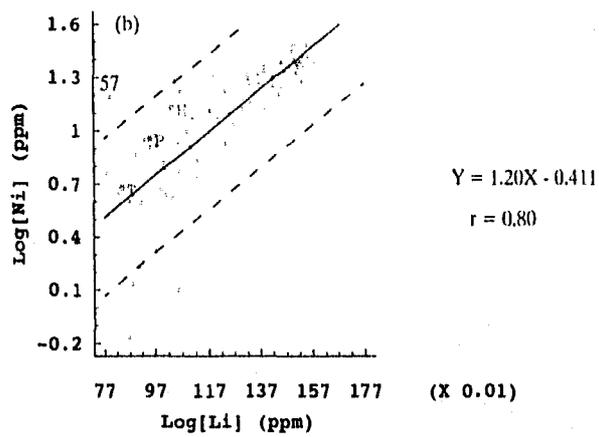
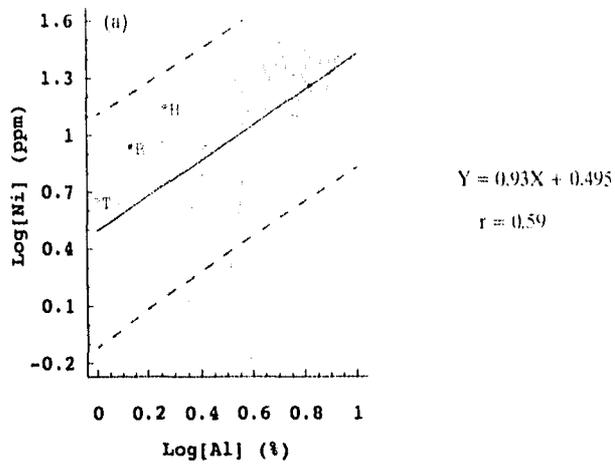


Figura 4.31.- Concentración de níquel contra aluminio (a) y litio (b) totales del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

ensenada, así como por el hecho de que esta región recibe mayor aporte de material proveniente de los campos agrícolas.

Plomo (Pb)

El contenido de plomo total en los sedimentos de la laguna costera Altata-Ensenada del Pabellón variaron entre 45.8 y 293.7 ppm con un promedio de 121.0 ± 56.7 ppm (anexo III). Los máximos valores se detectaron en la margen este de la Ensenada del Pabellón (estaciones 71, 72 y 73), estero Carnevaca (estación 70) y en la estación 74, mientras que las mínimos se ubicaron en Las Puentes (estación 3), en la parte noroeste de la Bahía de Altata (estaciones 36 y 37), en La Figueroa (estación 48) y en la estación 49 (Fig. 4.32).

Las estaciones donde se encontró mayor concentración de plomo están ubicadas en la Ensenada del Pabellón, en zonas de aporte de material de los campos agrícolas (Péna y Picot, 1991). De acuerdo con Alloway (1990), los fertilizantes fosfatados tienen una concentración de plomo que oscila entre 7 y 225 ppm.

En general, se observó que la concentración de plomo en los sedimentos es mayor a la reportada en otras partes del país como Bahía de Ceuta (Osuna-López, 1981), lagunas de Sontecomapan (Ponce *et al.*, 1994) y Alvarado, Ver. (Rosales-Hoz *et al.*, 1986a) y Chautengo, Gro. (Páez-Osuna *et al.*, 1984) (Tabla 4.14), así como en el estero de Gangolli, India (Pandarinath y Narayana, 1992). Siendo comparable con las registradas en el golfo de Thermaikos, Grecia (Voutsinou-Taliadouri y Varnavas, 1995). Estos valores son mayores al promedio sugerido por Forstner (1980) para sedimentos "limpios", pero son menores a los detectados por este mismo autor para sedimentos "contaminados" de Clyde Sea, Gran Bretaña (Tabla 4.15).

La concentración de plomo total se correlacionó linealmente con un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$), en forma directa, con la materia orgánica y con

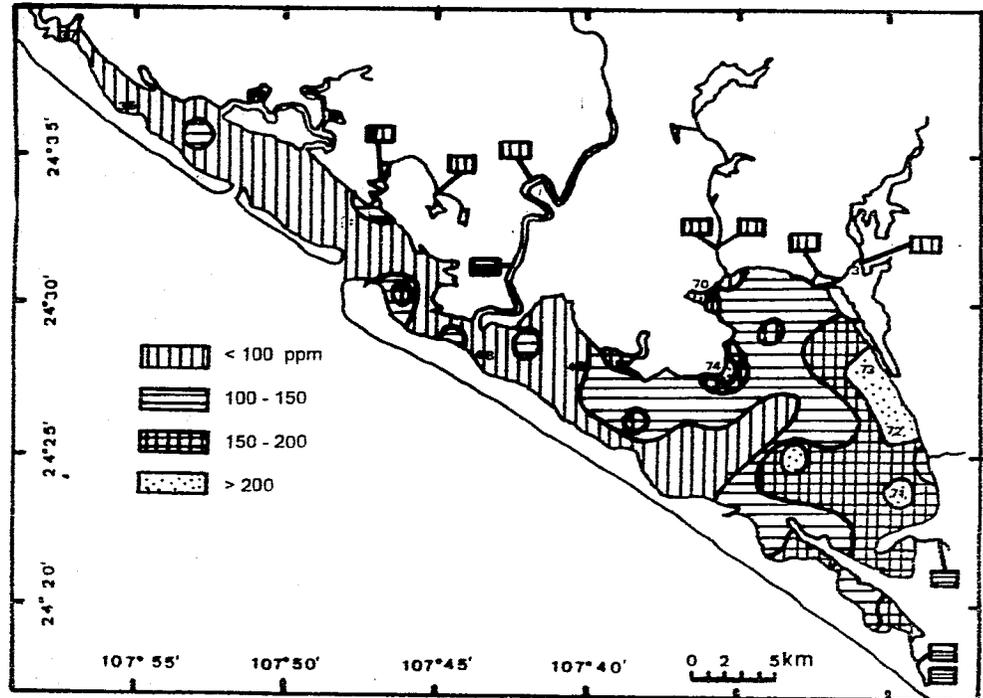


Figura 4 32.- Distribución de plomo total en sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

cobalto, cromo, cobre y zinc biodisponibles, y al 99.9 % ($P < 0.001$), inversamente con el tamaño promedio del sedimento y de manera directa con el resto de los metales totales (a excepción del manganeso con el que no se relacionó), y con plomo biodisponible (Tabla 4.1).

Con respecto a la regresión lineal entre este metal y el aluminio, se observó que las estaciones 74, 71 y 69 quedaron por arriba de los límites de predicción del 95 % (Fig. 4.33a); mientras que en lo relativo al litio, las estaciones 74 y 69 tuvieron el mismo comportamiento, sugiriendo un enriquecimiento anómalo en dichas áreas (Fig. 4.33b). De hecho, las estaciones 74 y 71 ocupan el tercero y cuarto lugar en cuanto a su contenido de plomo total. La estación 69 se ubica en el canal de navegación entre la Bahía de Altata y la Ensenada del Pabellón, pudiéndose asociar su concentración anómala de plomo con el tráfico de lanchas (Villanueva y Botello, 1992).

El grupo oligohalino presentó un promedio de plomo significativamente menor (82.8 ppm) que los grupos mesohalino (141.9 ppm) y polihalino (113.7 ppm), y a su vez, estos dos últimos grupos poseen promedios mayores que el del grupo euhalino (72.7 ppm) (Tabla 4.6), observándose el mismo comportamiento que el hierro para bajas concentraciones de salinidad y que la plata, cromo, cobre, manganeso y níquel cuando existen altos contenidos de sales.

La concentración promedio de plomo fue significativamente mayor para la Ensenada del Pabellón (140.1 ppm) que para la Bahía de Altata (81.3 ppm) y los cuerpos de agua interiores (91.6 ppm) (Tabla 4.9), estando influenciada por la distribución del tamaño promedio del sedimento, siendo más finos en la ensenada, así como por el hecho de que esta región recibe mayor aporte de material proveniente de los campos agrícolas que la bahía, y por la concentración de salinidad muy baja (oligohalinos) que predomina en los cuerpos de agua interiores.

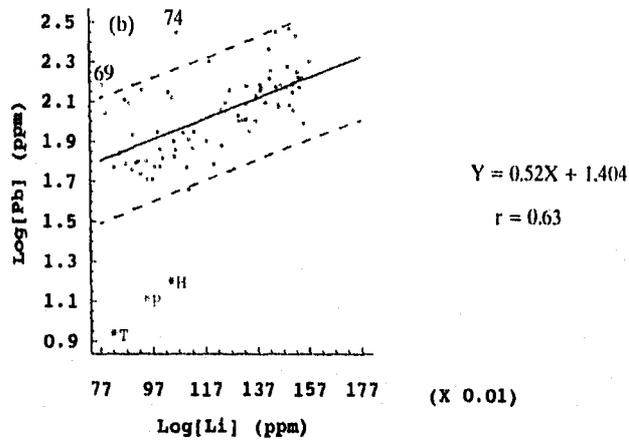
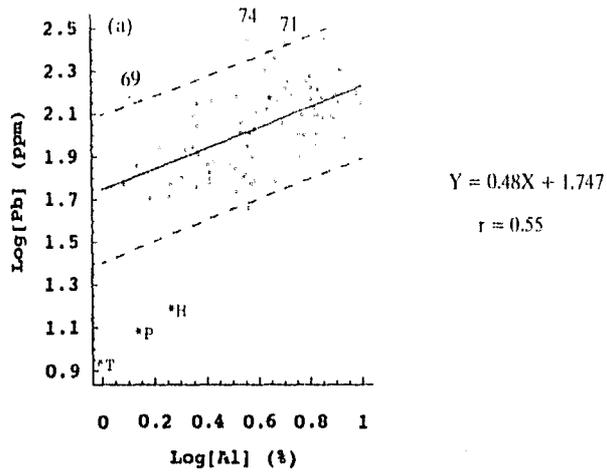


Figura 4.33.- Concentración de plomo contra aluminio (a) y litio (b) totales del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

Vanadio (V)

El promedio de la concentración de vanadio total en los sedimentos del complejo lagunar Altata-Ensenada del Pabellón fue de 34.6 ± 10.4 ppm, oscilando entre 10.0 y 66.4 ppm. Localizándose los máximos valores en el estero El Pericón (estación 76), río Culiacán (estaciones 46 y 47), al centro de la Ensenada del Pabellón (estación 63) y en La Atascosa (estación 20); mientras que los mínimos se encontraron en el área comprendida entre Punta Coyotes y Las Ratas (estaciones 51, 66 y 67), en el Tetuan Nuevo (estación 38) y en la estación 28 (Fig. 4.34).

En el caso del río Culiacán (estaciones 46 y 47), los altos valores se explican a través de la disminución de la energía, además de procesos de adsorción, debido al choque entre el agua del río y la del cuerpo lagunar, lo que sucede también con el hierro total. Las otras localidades con máximos valores, se asocian al aporte de material proveniente de los campos agrícolas. Según Alloway (1990), el contenido de este metal en fertilizantes fosfatados varía entre 2 y 1600 ppm.

Existe poca bibliografía acerca de metales pesados que incluya la determinación de las concentraciones de vanadio en los sedimentos de sistemas costeros, sin embargo los valores obtenidos para Altata-Ensenada del Pabellón en este estudio son similares a los reportados para el puerto de Salina Cruz, Oax. (Pica-Granados *et al.*, 1994) (Tabla 4.14) y ligeramente menores a los del estero Gangolli, India (Pandarinath y Narayana, 1992) y de marismas salobres del Estado de Georgia, E. U. A. (Alberts *et al.*, 1990) (Tabla 4.15).

La concentración de vanadio total se correlacionó linealmente con un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$), en forma directa con hierro y plomo biodisponibles, y al 99.9 % ($P < 0.001$), inversamente con el tamaño promedio del sedimento y de manera directa, con la materia orgánica, con el resto de los metales totales (a excepción del manganeso con el que no se relacionó), y con zinc biodisponible

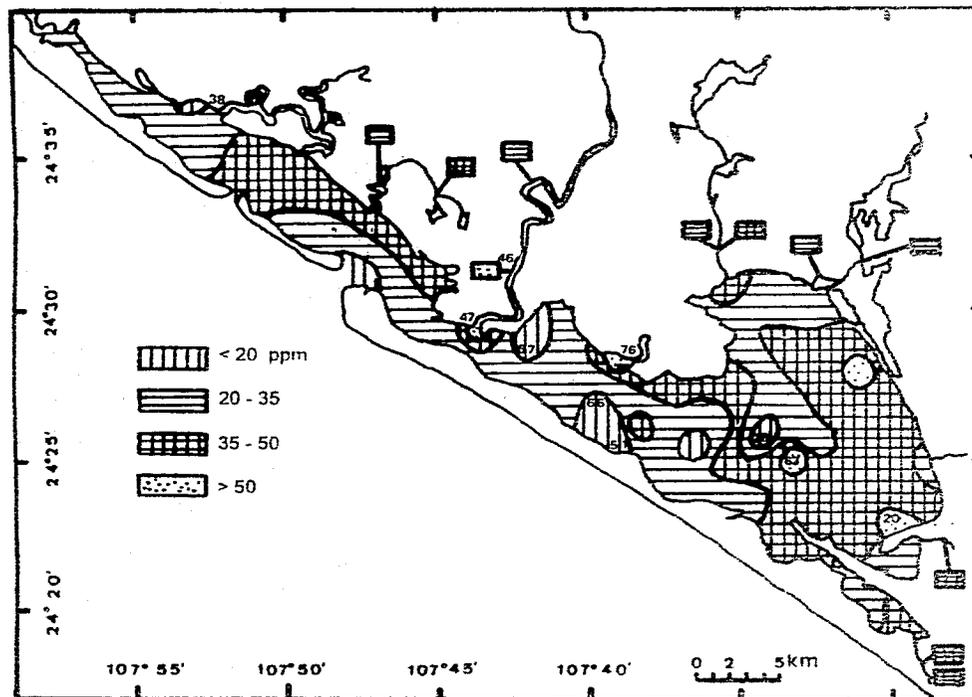


Figura 4.34 - Distribución de vanadio total en sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón

(Tabla 4.1) Las figuras 4.35a y 4.35b muestran las gráficas de la correlación lineal entre el vanadio y el tamaño medio del sedimento y el carbono orgánico, observándose que la estación 47, localizada en la desembocadura del río Culiacán, presentó una concentración anómala, lo que se explica mediante la disminución de la velocidad de la corriente fluvial y la consiguiente precipitación del material transportado por ella, así como por los procesos físico-químicos que se llevan a cabo en la zona de mezclado de aguas (Krumgalz *et al.*, 1990).

Graficando las concentraciones de vanadio contra aquellas del aluminio (Fig. 4.36a) y del litio (Fig. 4.36b), se observa que la estación Humaya sobrepasó los límites de predicción del 95 %, en ambos casos; además, de las estaciones 47 y 57 para el caso de litio, por lo que el enriquecimiento anómalo de estas últimas estaciones puede ser el resultado de las concentraciones de vanadio en la roca madre (estación Humaya).

Zinc (Zn)

La concentración de zinc en los sedimentos del complejo lagunar Altata-Ensenada del Pabellón variaron entre 18.8 y 176.1 ppm, con un promedio de 80.5 ± 40.0 ppm. Los valores más altos se ubicaron en los esteros Las Aguamitas (estación 43), El Pericón (estación 76), y de Ponce (estaciones 53 y 54) y en la margen este de la Ensenada del Pabellón (estación 73); mientras que los valores más bajos se detectaron en El Huichoral (estación 31), en el extremo noroeste de la Bahía de Altata (estaciones 36 y 37), en Las Ratitas (estación 67) y en la estación 28 (Fig. 4.37).

Las estaciones con mayor contenido de este metal están asociadas al aporte de material proveniente de los campos agrícolas circundantes, donde se emplea Zineb, el cual es un pesticida enriquecido en Zinc (Páez-Osuna *et al.*, 1993b). Alloway

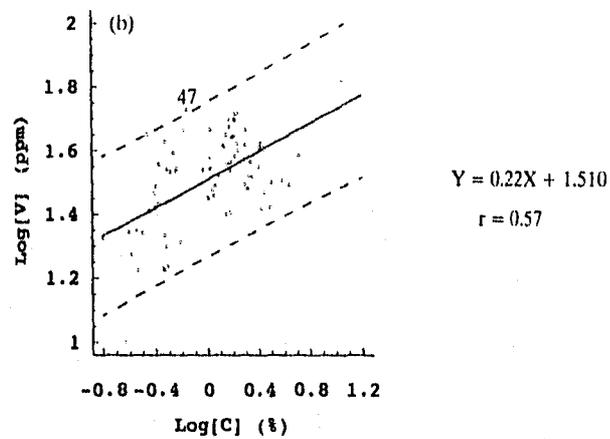
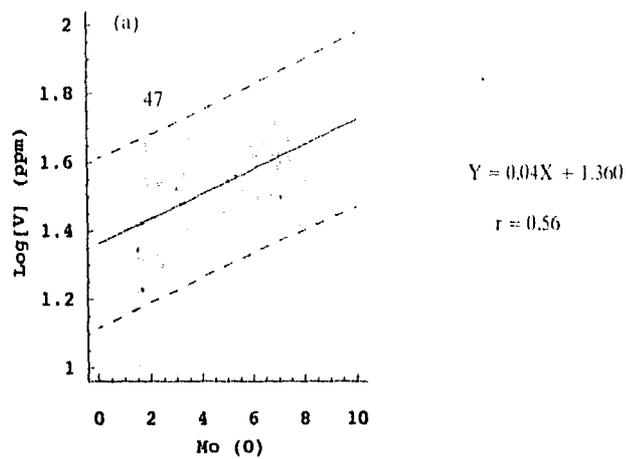


Figura 4.35.- Concentración de vanadio total contra tamaño promedio (a) y carbono orgánico (b) del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

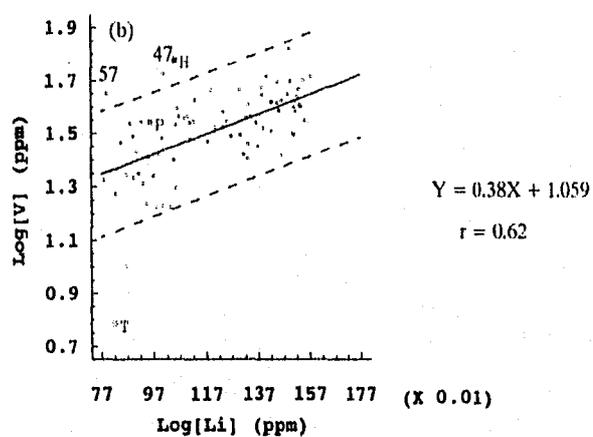
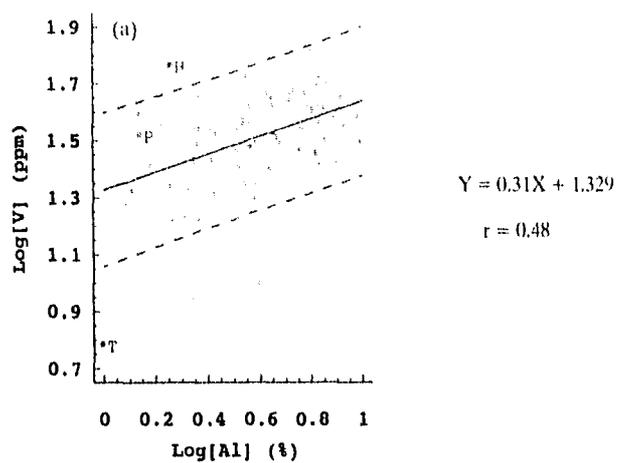


Figura 4.36.- Concentración de vanadio contra aluminio (a) y litio (b) totales del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

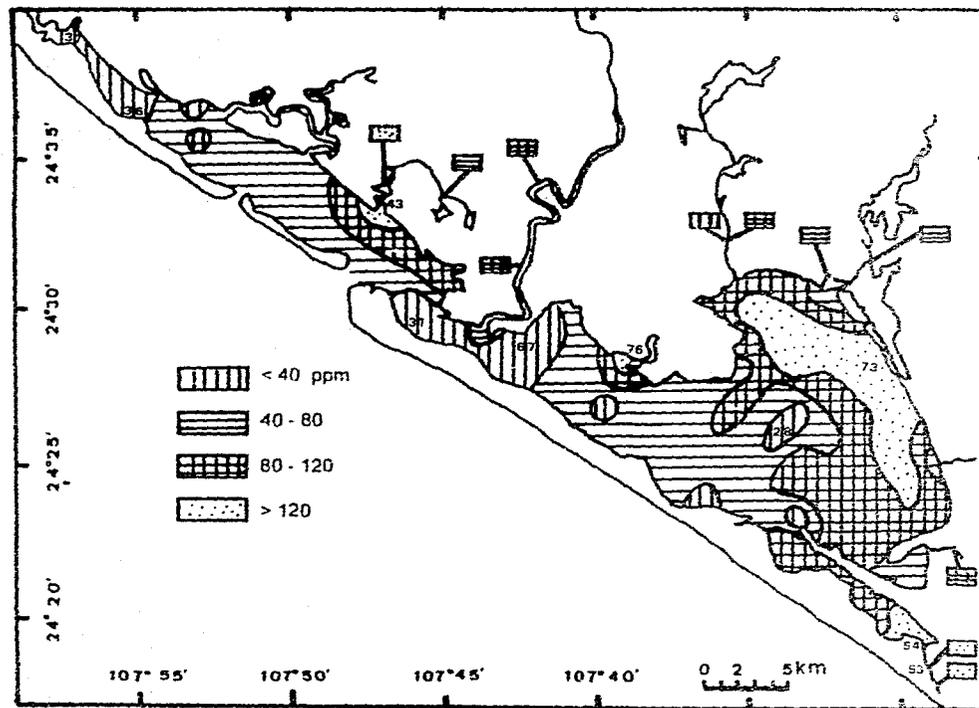


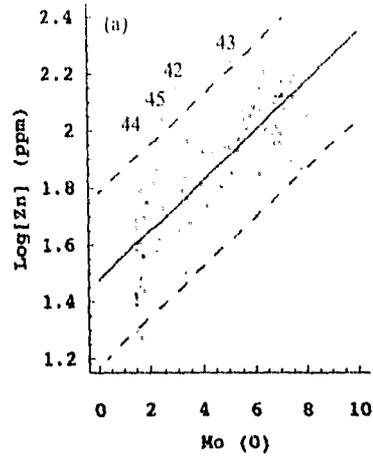
Figura 4.37 - Distribución de zinc total en sedimentos del sistema lagunar Allata-Ensenada del Pabellón

(1990) menciona que las concentraciones de este metal en fertilizantes fosfatados oscilan entre 50-1450 ppm.

La concentración de zinc en los sedimentos de este cuerpo de agua es mayor a la reportada en otras partes del país como Bahía de Ceuta (Osuna-López, 1981) y laguna de Sontecomapan (Ponce *et al.*, 1994). Sin embargo, es similar a la detectada en las lagunas de Alvarado, Ver. (Rosales-Hoz *et al.*, 1986a) y Chautengo, Gro. (Páez-Osuna *et al.*, 1984) (Tabla 4.14) y en el estero de Gangolli, India (Pandarinath y Narayana, 1992). Cabe mencionar que promedio de las concentraciones de zinc encontradas en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón fue menor al promedio sugerido por Forstner (1980) para sedimentos "limpios" de Clyde Sea, Gran Bretaña (Tabla 4.15).

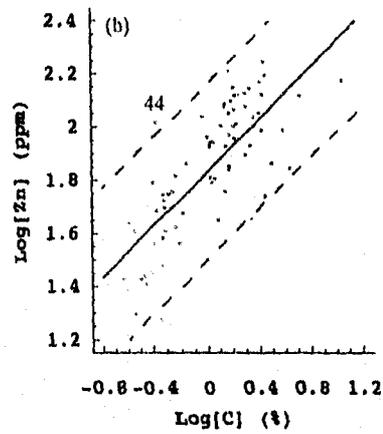
La concentración de zinc se correlacionó con un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$) en forma inversa con el carbonato de calcio y de manera directa con el plomo biodisponibles, y al 99.9 % ($P < 0.001$) inversamente con el tamaño promedio del sedimento y directamente con las concentraciones totales del resto de los metales pesados (a excepción de cadmio y manganeso, con los cuales no existe correlación), y con el hierro y zinc biodisponibles (Tabla 4.1). En Las Aguamitas (estaciones 42 y 43), estación 44 y en el río Culiacán (estación 45), existen concentraciones de zinc mayores a las que corresponderían al tamaño promedio del sedimento encontrado en esas zonas (Fig. 4.38a). Presentándose la misma situación para la estación 44 con respecto al carbono orgánico (Fig. 4.38b) y para las cuatro estaciones mencionadas en el caso de aluminio (Fig. 4.39a) y litio (Fig. 4.39b).

La concentración promedio de zinc en el grupo mesohalino (111.6 ppm) fue significativamente mayor que la encontrada en el grupo euhalino (66.5 ppm), comportándose de forma similar que la plata, cromo, cobre, manganeso, níquel y plomo.



$$Y = 0.09X + 1.477$$

$$r = 0.80$$



$$Y = 0.49X + 1.829$$

$$r = 0.75$$

Figura 4.38.- Concentración de zinc total contra tamaño promedio (a) y carbono orgánico (b) del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

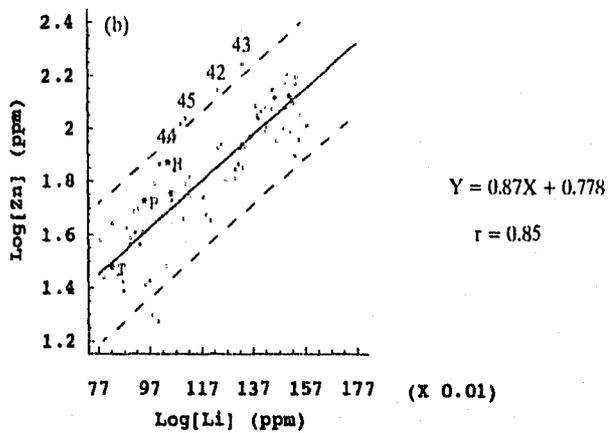
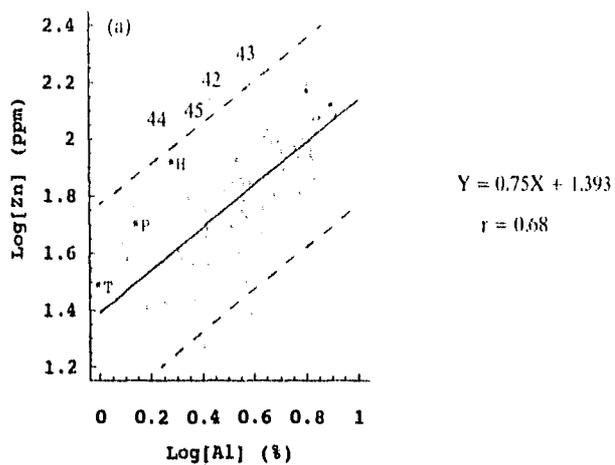


Figura 4.39.- Concentración de zinc contra aluminio (a) y litio (b) totales del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

4.3.4 Biodisponibilidad potencial.

Los valores de las concentraciones de los metales pesados biodisponibles se muestran en el anexo IV y el porcentaje que representa con respecto al contenido total en el anexo V, en tanto que los coeficientes de correlación de estos elementos entre sí y con las demás variables se observan en la Tabla 4.1.

En relación con los ambientes sedimentarios de depósito del sistema lagunar Altata - Ensenada del Pabellón, de todos los promedios de las concentraciones de los metales analizados en la fracción biodisponible, sólo los del cadmio, cromo, hierro y plomo presentaron diferencias significativas (Tabla 4.4). Lo anterior es discutido ampliamente en las secciones correspondientes a cada metal.

En relación a los grupos halinos, los promedios de las concentraciones correspondientes al cadmio, cobre, manganeso y plomo biodisponibles mostraron diferencias significativas (Tabla 4.7).

Existen diferencias significativas en las concentraciones de los metales pesados biodisponibles de acuerdo a la región en la que fueron muestreados los sedimentos, siendo el caso de cobre, manganeso y plomo (Tabla 4.10).

En relación a la agrupación de datos con respecto a las zonas de manglar, no se observó ninguna diferencia significativa (Tabla 4.13).

Cadmio (Cd)

Las concentraciones de cadmio biodisponible en los sedimentos del área de estudio, oscilaron entre aquellas por debajo del límite de detección del método y 2.1 (ppm), con un promedio de 0.4 ± 0.4 ppm (anexo IV). Los valores más altos se

ubicaron en el canal de navegación de la Bahía de Altata (estación 35), Punta Zopilote (estación 61), al norte de la isla Las Iguanas (estación 50), en el centro de la Ensenada del Pabellón (estación 27) y en la estación 74; mientras que las mínimas concentraciones se localizaron cerca de punta Coyotes (estaciones 10 y 51), y en la desembocadura del río Culiacán y proximidades (estaciones 44, 47 y 49), como se puede observar en la figura 4.40. Las estaciones 35 y 74 son dos de las cinco con mayor concentración de cadmio total.

A excepción de las cinco estaciones de mayor concentración, mencionadas anteriormente, el contenido de cadmio biodisponible fue comparable al reportado para el puerto de Mazatlán, Sin. (Osuna-López *et al.*, 1986), río Coatzacoalcos y laguna del Ostión, Ver. (Pérez-Osuna *et al.*, 1986) y Bahía San Quintín, B. C. (Gutiérrez-Galindo, 1991) (Tabla 4.16).

La concentración de este metal en la fracción biodisponible se correlacionó con un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$) en forma directa con el plomo biodisponible (Tabla 4.1) y con 99.9 de significancia ($P < 0.001$) directamente con el carbonato de calcio, plata y cadmio totales, así como con el resto de los de los metales en esta fracción (a excepción del hierro y manganeso, con los cuales no se relacionó). De acuerdo al contenido de carbonato de calcio, se observó que las estaciones 76 y 35 superan los límites de predicción del 95 % (Fig. 4.41a), siguiendo el mismo comportamiento la estación 15, al graficar la regresión lineal de las concentraciones de este metal contra cobalto, ambos en la fracción biodisponible (Fig. 4.41b).

El contenido promedio de cadmio biodisponible en el ambiente sedimentario subóxico es significativamente menor que aquellos detectados para los ambientes óxico y supraóxico (Tabla 4.4), siguiendo el mismo comportamiento que en su fracción total.

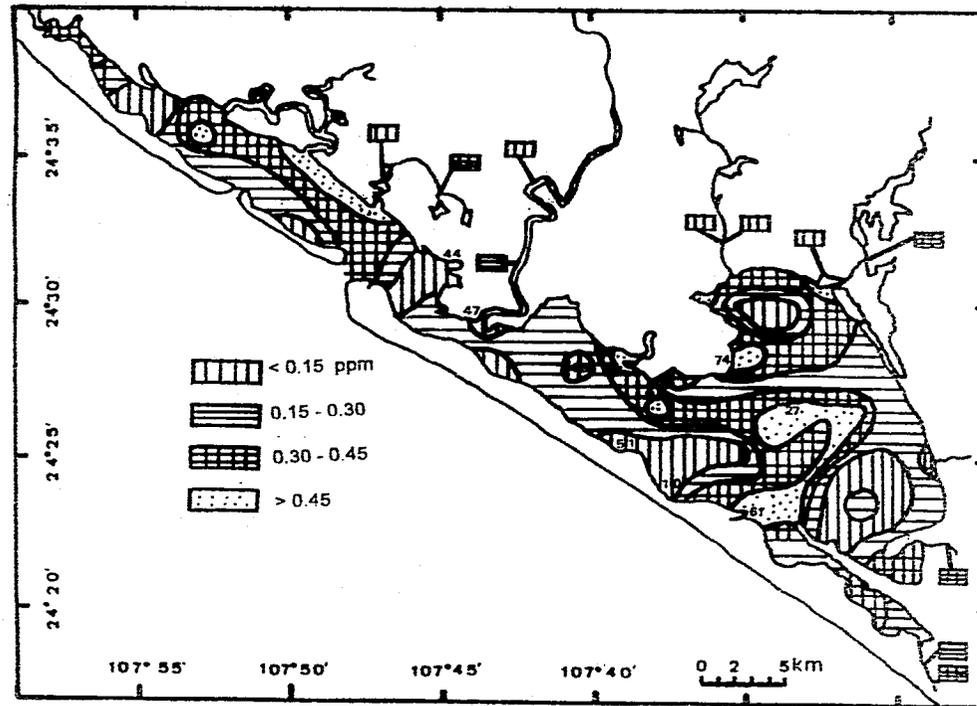


Figura 4.40.- Distribución de cadmio biodisp. en sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

Tabla 4.16.- Intervalos de concentración de metales pesados en la fracción biodisponible en sedimentos de diversas localidades de México y del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

Localidad	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Bahía San Quintín, B. C. ¹	ND-1.0	—	—	0.2-13.4	—	9-41	—	—	1.8-11.4
Pto. de Mazatlán, Sin. ²	0.1-0.6	0.4-3.8	0.3-3.0	0.2-0.9	0.1-0.3	—	2.2-4.9	1.4-10.6	2.8-20.3
Río Coatzacoalcos y L. Ostión, Ver. ³	0.5-1.0	0.9-12.0	0.3-18.0	0.2-1.3	0.1-1.4	—	0.6-8.1	1.0-10.0	1.8-45.0
Laguna Sontecomapan, Ver. ⁴	—	2.2-3.1	2.1-2.9	0.2-0.7	—	—	2.6-3.7	—	3.1-4.2
Zona de estudio	ND-2.1	0.1-9.2	ND-4.9	0.2-5.3	0.003-0.1392	20-5317	ND-12.5	0.2-72.4	1.5-23.6

(1) Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1991; (2) Osuna-López *et al.*, 1986; (3) Páez-Osuna *et al.*, 1986; (4) Ponce *et al.*, 1994

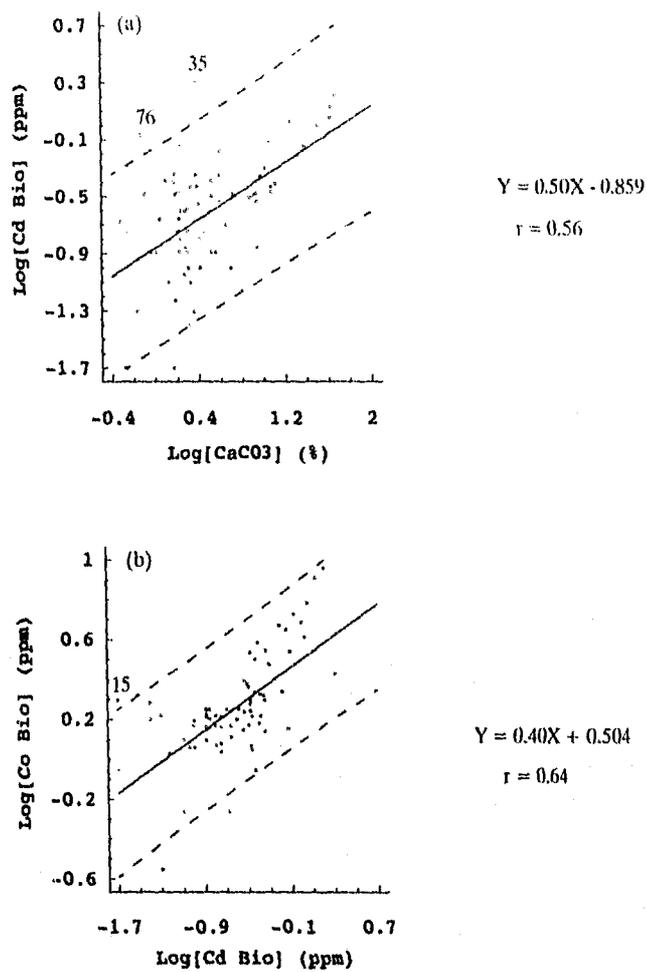


Figura 4.41.- Concentración de cadmio biodisponible contra carbonato de calcio (a) y cobalto biodisponible (b) del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

El grupo mesohalino presentó un promedio de la concentración de este metal en la fracción biodisponible (0.2 ppm) significativamente menor que el grupo polihalino (0.4 ppm) (Tabla 4.7).

En relación a la biodisponibilidad potencial de este metal, se observó que en promedio el porcentaje disponible para la biota fue de 48.7 % (anexo V). Sin embargo, debe considerarse que la efectividad de cualquier extracción química para predecir la biodisponibilidad depende del metal, su especie química y el tipo de organismo (Osuna-López *et al.*, 1986). La estación 71 con un porcentaje de biodisponibilidad potencial del cadmio del 41.2 %, presentó una concentración promedio de 119 $\mu\text{g/g}$ (peso seco) en la almeja *Tellina* sp. (Páez-Osuna *et al.*, 1993b), en tanto que para la estación 73, con 38.8 % de cadmio potencialmente biodisponible, se observó un promedio de 43.4 $\mu\text{g/g}$ (peso seco) de este metal en *Chione subrugosa* (Páez-Osuna *et al.*, 1993a).

Cobalto (Co)

El contenido de cobalto en esta fracción fluctuó entre 0.1 y 9.2 ppm, con un promedio de 2.1 ± 1.6 ppm (anexo IV). Las concentraciones más altas se localizaron en Punta Zopilote (estación 61), al norte de la Isla Las Iguanas (estación 50), estero El Pericón (estación 76), Punta paredones (estación 57) y en la estación 74 (Fig. 4.42); en tanto que los contenidos menores de cobalto biodisponible se registraron en cerca de Punta Coyotes (estación 51), Las Ratas (estación 49), estero El Tigre (estación 22), El Huichoral (estación 31) y en las proximidades del poblado de Altata (estación 60). Cabe mencionar que la estación 76 es la de mayor contenido de cobalto total.

Las concentraciones de cobalto biodisponible en los sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón fueron ligeramente mayores que las reportadas para el puerto de Mazatlán, Sin. (Osuna-López *et al.*, 1986) y la laguna de

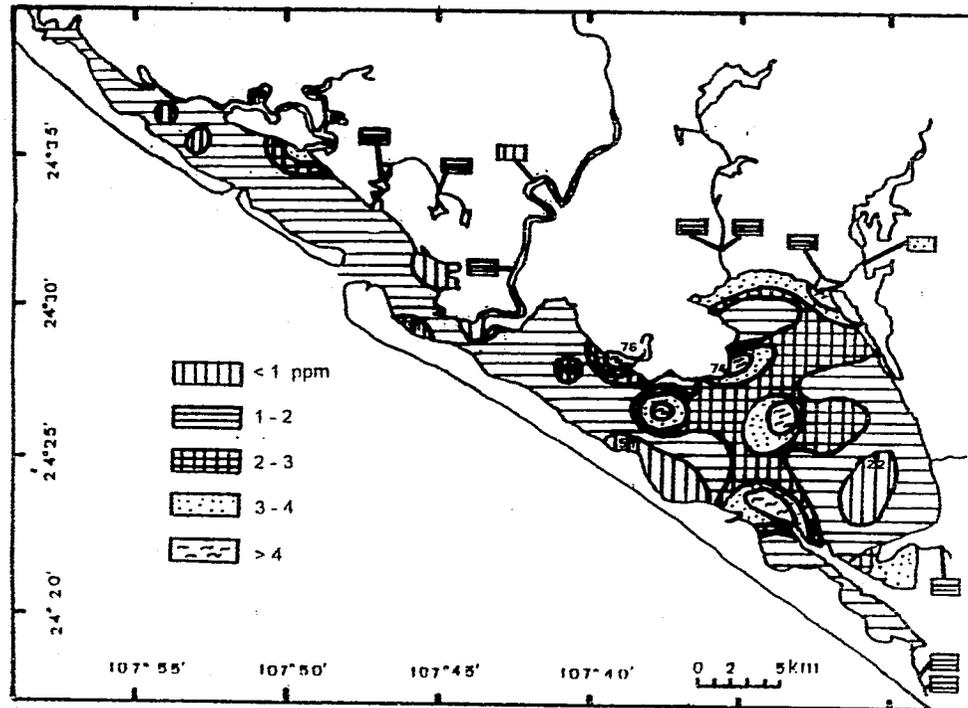


Figura 4.42 - Distribución de cobalto biodisp. en sedimentos del sistema lagunar Allata-Ensenada del Pabellón

Sontecomapan, Ver. (Ponce *et al.*, 1994), y comparables a las del río Coatzacoalcos y laguna del Ostión, Ver. (Páez-Osuna *et al.*, 1986) (Tabla 4.16).

El contenido de cobalto biodisponible se correlacionó en un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$) inversamente con hierro biodisponible y en forma directa con aquel del carbono orgánico y plomo total (Tabla 4.1), en tanto que con un nivel de 99.9 % ($P < 0.001$) directamente con el carbonato de calcio, plata y cadmio totales y el resto de los metales en la fracción biodisponible (a excepción de manganeso y zinc, con los cuales no se relacionó). En la figura 4.43a se puede observar que la estación 76 tiene mayor contenido de cobalto biodisponible que el correspondiente a su concentración de carbonato de calcio, de acuerdo a la regresión lineal asociada.

El porcentaje de biodisponibilidad potencial con respecto al total de este metal en los sedimentos analizados presentó un promedio de 12.5 %, siendo las de mayor porcentaje las estaciones 61 (51.3 %), 57 (48.0 %), 74 (43.6 %), 50 (38.7 %) y 27 (34.2 %) (anexo V), todas ellas en la Ensenada del Pabellón, donde el aporte de material de los campos agrícolas aledaños es más marcado.

Cromo (Cr)

El contenido de este metal en la fracción biodisponible de los sedimentos registró un máximo de 4.88 ppm, en tanto que los valores mínimos fueron menores al límite de detección de la técnica empleada, el valor promedio fue de 0.9 ± 0.9 ppm (anexo IV). Las máximas concentraciones se localizaron en la Punta Zopilote (estación 61), Las Iguanas (estación 50), Punta Paredones (estación 57), Isla Tijeras (estación 27) y en la estación 74, todas ellas en el interior de la Ensenada del Pabellón (Fig. 4.44); mientras que los valores mínimos se obtuvieron para las muestras obtenidas alrededor de Punta Coyotes (estaciones 10 y 51), Boca Gavilanes (estación 34), El Tetuan Viejo (estación 39), río Cullacán (estaciones 45 y

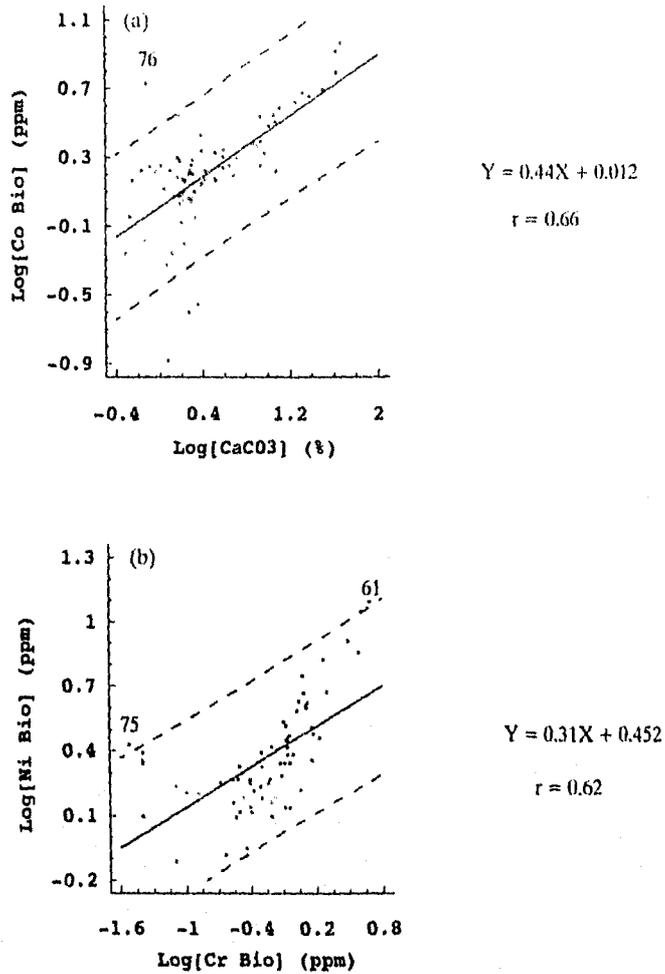


Figura 4.43.- Concentración de cobalto biodisponible contra carbonato de calcio (a) y níquel contra cromo biodisponibles (b) del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95% en línea discontinua.

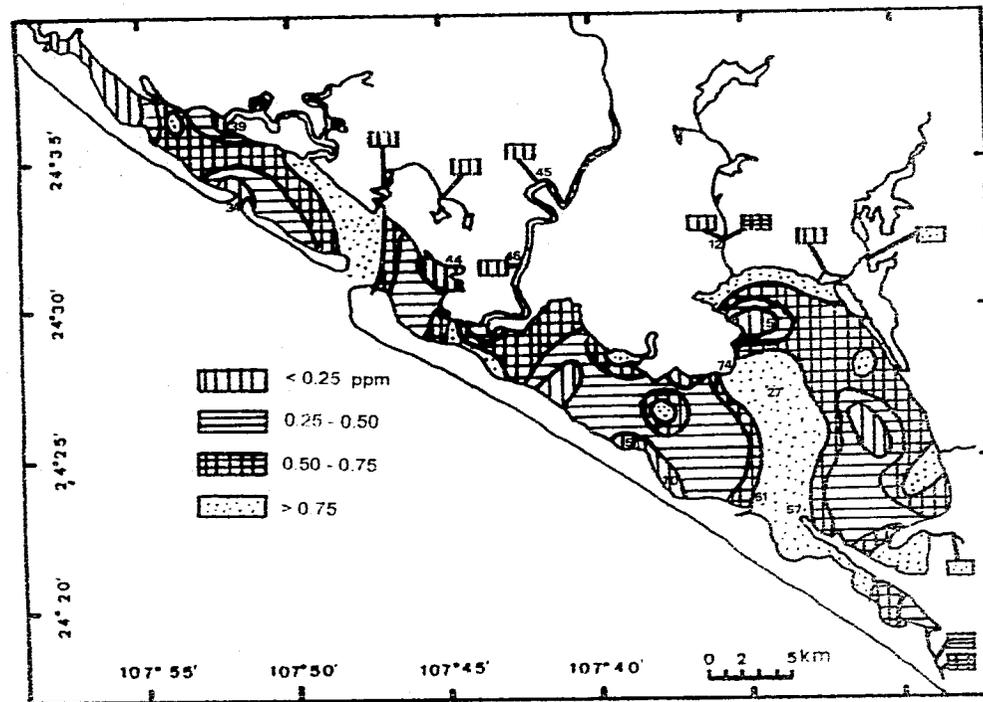


Figura 4.44. - Distribución de cromo biodisp. en sedimentos del sistema lagunar Altata Ensenada del Pabellón

46), en la conexión entre Bataoto y Ensenada del Pabellón (estación 12), y en las estaciones 5 y 44.

La concentración de cromo biodisponible en los sedimentos del complejo lagunar Altata-Ensenada del Pabellón es similar a la reportada para la Bahía de Mazatlán, Sin. (Osuna-López *et al.*, 1986), río Coatzacoalcos y laguna del Ostión (Páez-Osuna *et al.*, 1986) y laguna de Sontecomapan, Ver. (Ponce *et al.*, 1994) (Tabla 4.16).

El contenido de este metal en la fracción biodisponible se correlacionó con un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$) en forma inversa con hierro tanto total como biodisponible y directamente con plomo total (Tabla 4.1), mientras que con 99.9 % ($P < 0.001$) de significancia de manera directa con el carbonato de calcio, plata y cadmio totales y con el resto de los metales en la fracción biodisponible (a excepción de manganeso y zinc con los que no se correlacionó). Las estaciones 61 y 76 sobrepasaron los límites de predicción del 95 % para la regresión lineal entre esta variable y el níquel biodisponible (Fig. 4.43b).

En el ambiente sedimentario supraóxico se encontró mayor concentración de cromo biodisponible (0.9 ppm) que en el subóxico (0.3 ppm) (Tabla 4.4), comportándose de manera contraria a su contraparte total, observándose que el papel que juega el oxígeno disuelto en la de/adsorción depende de la especie química en la que se presente el metal.

El porcentaje promedio de cromo biodisponible potencialmente con respecto del contenido total fue de 5.8 %, presentándose las de mayor porcentaje en las estaciones 61 (34.1 %), 57 (31.0 %), 74 (23.9 %), 50 (22.4 %) y 27 (19.9 %) (anexo V). Cabe señalar que estas mismas estaciones presentaron los más altos porcentajes de biodisponibilidad potencial del cobalto.

Cobre (Cu)

El valor promedio de cobre biodisponible en la zona de estudio fue de 1.8 ± 1.1 ppm, los valores oscilaron entre 0.2 y 5.3 ppm (anexo IV). Las máximas concentraciones se ubicaron en la Punta Zopilote (estación 61), Las Iguanas (estación 50), en la conexión entre Bataoto y Ensenada del Pabellón (estación 12), en la estación 74 y en la Punta Paredones (estación 57); en tanto que el contenido menor de cobre se registró para las cercanías del poblado de Altata (estación 60), y la zona de comunicación entre la Laguna de Altata y Ensenada del Pabellón, donde desemboca el río Culliacán (estaciones 44, 67, 69 y 75), como se puede observar en la figura 4.45.

La concentración de cobre en la fracción biodisponible de los sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón es ligeramente mayor a la reportada para la Bahía de Mazatlán, Sin. (Osuna-López *et al.*, 1986), río Coatzacoalcos y laguna del Ostión (Páez-Osuna *et al.*, 1986) y laguna de Sontecomapan, Ver. (Ponce *et al.*, 1994); en tanto que es comparable con la delectada en Bahía San Quintín, B. C. (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1991) (Tabla 4.16).

El contenido de cobre biodisponible se correlacionó con un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$) inversamente con el tamaño promedio del sedimento y en forma directa con el aluminio, níquel y plomo totales (Tabla 4.1), en tanto que con un nivel del 99.9 % ($P < 0.001$) de manera inversa con la salinidad y directamente con el carbonato de calcio, plata y cobre totales y con el resto de los metales en la fracción biodisponible (a excepción del hierro, manganeso y zinc). En la figura 4.46a se observa que las estaciones 61, 57, 50 y 12, presentaron concentraciones mayores a las esperadas de acuerdo al tamaño promedio del sedimento; mientras que este mismo comportamiento se observa para la concentración de cobre biodisponible en las estaciones 12 y 13 con respecto al carbonato de calcio (Fig. 4.46b). Nótese que

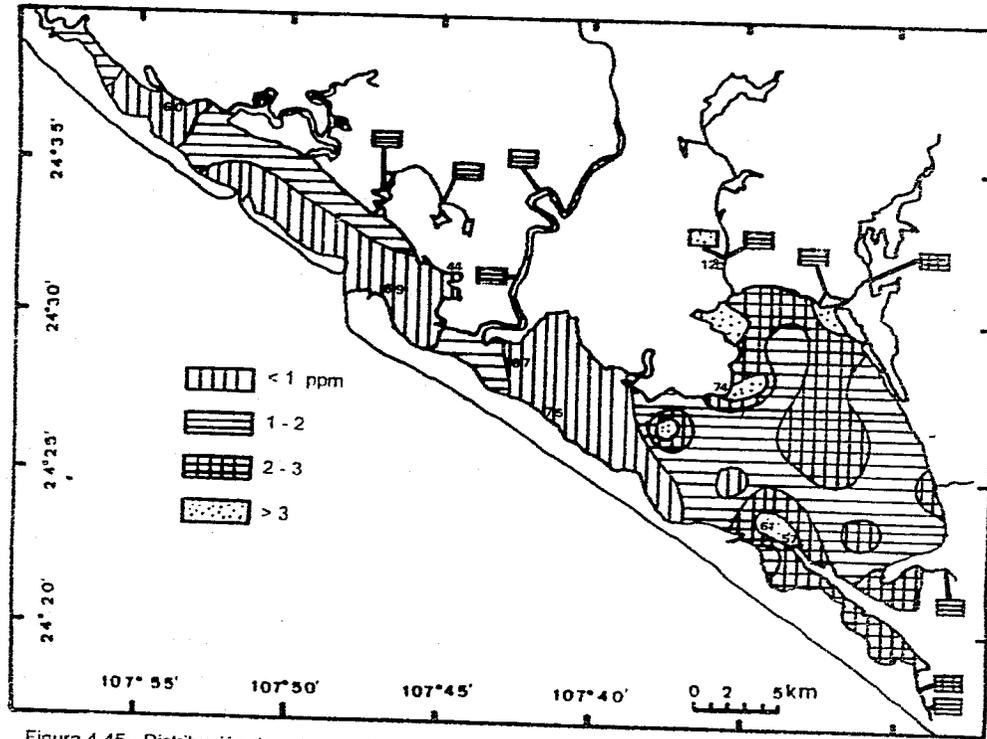


Figura 4.45.- Distribución de cobre biodisp. en sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

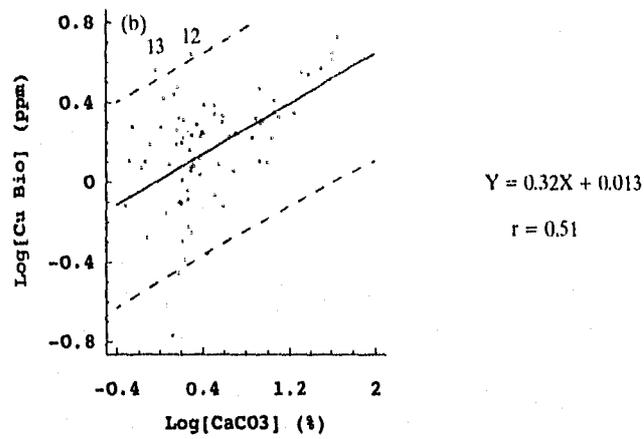
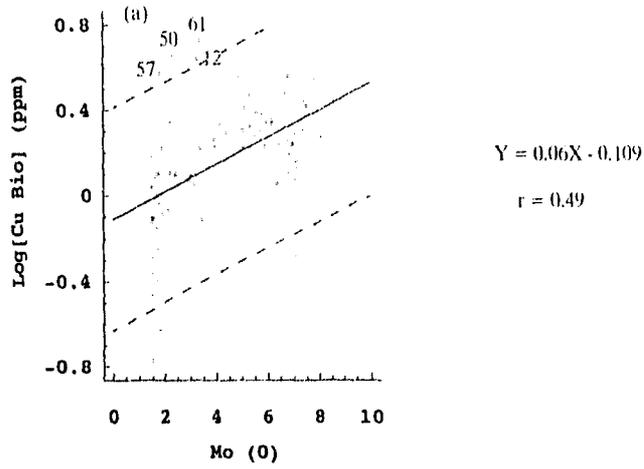


Figura 4.46.- Concentración de cobre biodisponible contra tamaño promedio (a) y carbonato de calcio (b) del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

estas cinco estaciones forman parte de las seis de mayor concentración de este metal en dicha fracción.

Las estaciones agrupadas dentro de los grupos oligohalino (2.4 ppm) y polihalino (1.9 ppm), poseen una concentración promedio de cobre biodisponible significativamente mayor que la del grupo euhalino (1.0 ppm) (Tabla 4.7). Con lo anterior se refuerza lo dicho con anterioridad en el sentido que los compuestos clorados favorecen la solución de los iones metálicos y evitan su precipitación (Luoma *et al.*, 1995).

La Bahía de Altata presentó una concentración promedio para esta variable significativamente menor (0.9 ppm) que la detectada en la Ensenada del Pabellón (2.0 ppm) y en los cuerpos de agua interiores (1.9 ppm) (Tabla 4.10), lo cual está regido por el mayor aporte de material proveniente de los campos agrícolas en estas últimas regiones que en la bahía.

Con relación a la biodisponibilidad potencial de este metal, el porcentaje promedio fue de 7.1 %, siendo las de mayor porcentaje las estaciones 57 (26.0 %), 50 (23.3 %), 61 (19.8 %), 27 (17.8 %) y 30 (17.5 %). Las cuatro primeras estaciones concuerdan con las de mayor porcentaje de biodisponibilidad de cromo y cobalto, mostrando que para estos metales los procesos de especiación son similares (anexo V).

Hierro (Fe)

La concentración de hierro en la fracción biodisponible fluctúa entre 25 y 1392 ppm, con un promedio de 478 ± 342 ppm (anexo IV). En la figura 4.47 se puede observar que el mayor contenido de este metal se registró en las bocas de los esteros Agumitas (estación 43), De Ponce (estaciones 53 y 54), Pericón (estación 76), y en el Tetuan Viejo (estación 39); en tanto que las concentraciones menores se

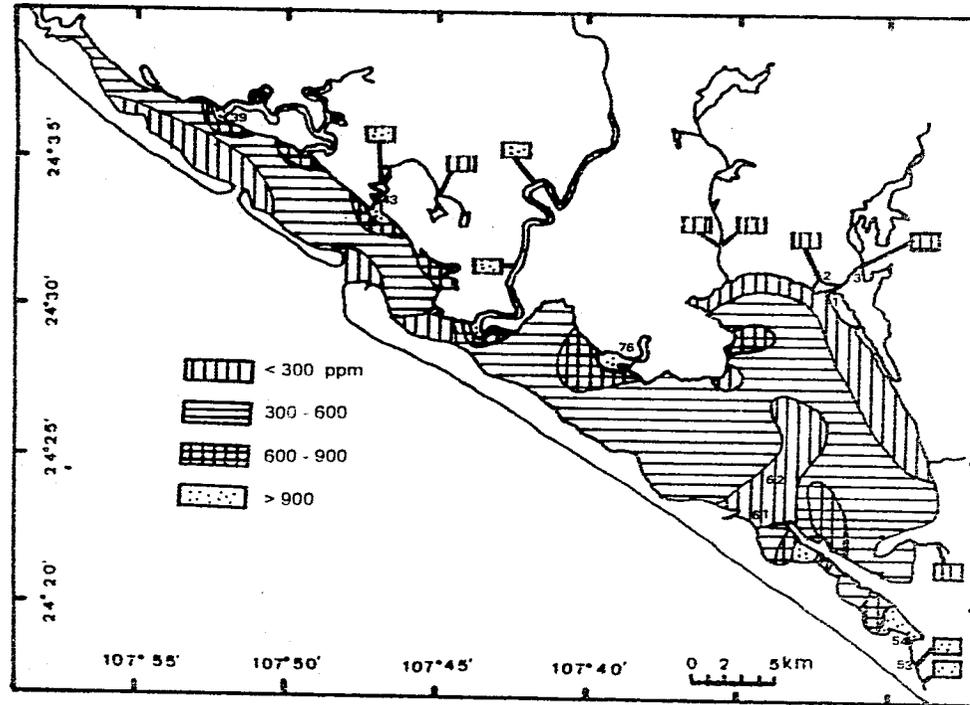


Figura 4.47 - Distribución de hierro biodisp. en sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

encontraron en las cercanías de Punta Zopilote (estaciones 61 y 62), y Las Puentes (estaciones 1, 2 y 3). Cabe aclarar que, contrariamente al mínimo valor reportado para este metal, la Punta Zopilote se caracterizó por poseer altas concentraciones de los otros metales evaluados en la fracción biodisponible.

La concentración de hierro biodisponible en los sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón son considerablemente mayores a los detectados en la Bahía de Mazatlán, Sin. (Osuna-López *et al.*, 1986), y río Coatzacoalcos y laguna del Ostión, Ver. (Páez-Osuna *et al.*, 1986) (Tabla 4.16).

La concentración de hierro en la fracción biodisponible se correlacionó con un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$), inversamente con el carbonato de calcio y el cobalto y plomo biodisponibles y de manera directa con la salinidad, el hierro y el vanadio totales; mientras que con el 99.9 % ($P < 0.001$) en forma inversa con níquel biodisponible y directamente con zinc tanto total como biodisponible (Tabla 4.1).

Las estaciones agrupadas en el ambiente sedimentario anóxico presentaron una concentración promedio de hierro biodisponible (112 ppm) significativamente menor que la de los ambientes sedimentarios óxico (471 ppm) y supraóxico (575 ppm) (Tabla 4.4). De acuerdo con Byrd *et al.* (1990), el oxígeno disuelto en el agua juega un papel importante en los procesos de de/adsorción de los metales.

El porcentaje promedio de hierro disponible para la biota con respecto al contenido total de dicho metal en los sedimentos fue de 1.0 %, siendo las que presentan mayor porcentaje las estaciones 45 (4.8 %), 47 (3.0 %), 54 (2.9 %), 53 (2.8 %) y 46 (2.7 %) (anexo V). Respecto a la estación 47, Páez-Osuna *et al.* (1993a) reportaron en esta misma localidad la mayor concentración de este metal en el año 1990 ($> 400 \mu\text{g/g}$ de peso seco), en tejido suave del Ostión *Crassostrea palmula*, en tanto que los mismos autores (1993b) detectaron un contenido relativamente alto para fines del año 1989 y principios de 1990 (2231 y 1129 $\mu\text{g/g}$ de peso seco,

respectivamente), en la almeja *Chione subrugosa*. Por otro lado, la estación 1 que es una de las cinco estaciones con menor concentración de hierro biodisponible y menor porcentaje de biodisponibilidad con respecto a su total presentó, según Páez-Osuna *et al.* (1994), un contenido de hierro relativamente alto ($> 2000 \mu\text{g/g}$ de peso seco) en el mejillón *Mytilus strigata* en el año 1990. Sin embargo, cabe señalar que con respecto a los otros metales analizados, el hierro presenta el menor porcentaje de biodisponibilidad.

Manganeso (Mn)

El contenido de manganeso biodisponible varió entre 20 y 5317 ppm, con un promedio de 309 ± 670 ppm (anexo IV). Los máximos valores se reportaron en Las Puentes y sus proximidades (estaciones 1, 2, 3 y 4) y Río Culiacán (estación 46), en tanto que los mínimos se localizaron entre las Puntas Coyotes y Zopilote (estaciones 10 y 30), frente al poblado de Altata (estación 60), en el interior del estero de Aguamitas (estación 41) y cerca de la Figueroa (estación 48) (Fig. 4.4B).

Existe poca bibliografía referente a la concentración de manganeso en la fracción biodisponible. El contenido de este metal en dicha fracción en los sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón es mayor que el reportado para los de la Bahía de San Quintín, B. C. (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1991) (Tabla 4.16).

La concentración de manganeso biodisponible se correlacionó con un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$) en forma inversa con el cadmio y directamente con el aluminio, ambos en la fracción total, en tanto que con un nivel del 99.9 % ($P < 0.001$), inversamente con la salinidad y de manera directa con el manganeso total (Tabla 4.1).

Las estaciones que integran el grupo polihalino presentaron un contenido promedio de manganeso biodisponible (173 ppm) significativamente mayor que el detectado

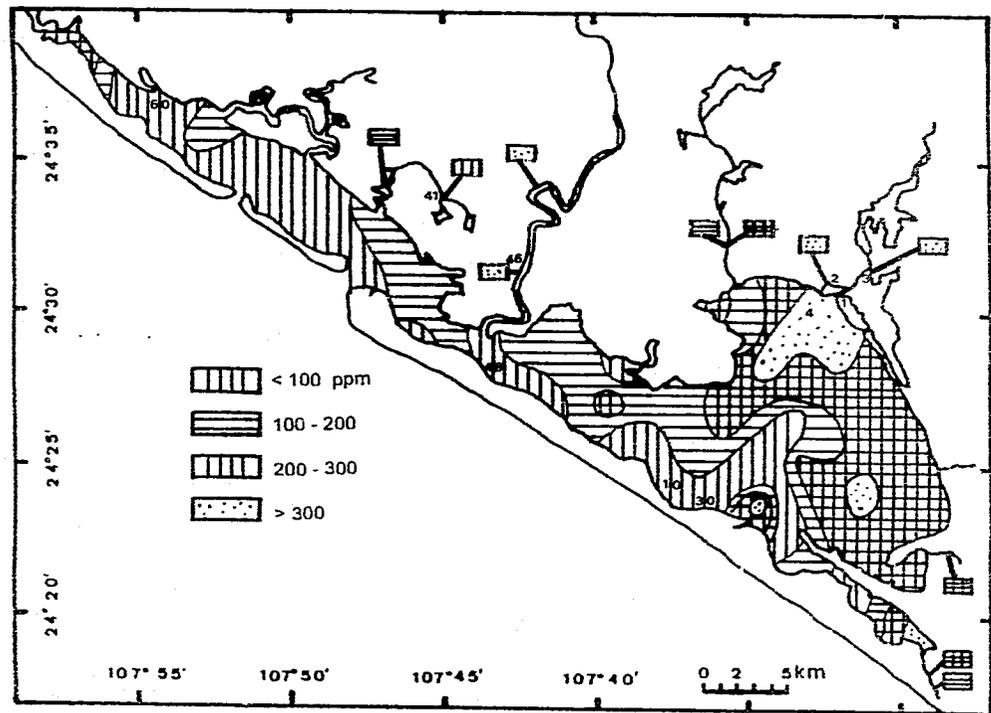


Figura 4.48.- Distribución de manganeso biodisp. en sedimentos del sistema lagunar Allata-Ensenada del Pabellón.

para el grupo euhalino (100 ppm), como resultado del papel que juegan los compuestos clorados en la desadsorción de este metal (Tabla 4.7). Según Pandarinath y Narayana (1992), en ambientes estuarinos de alta salinidad normalmente ocurre desadsorción de los metales.

La Bahía de Altata presentó una concentración promedio de manganeso en la fracción biodisponible (104 ppm) significativamente menor que la Ensenada del Pabellón (240 ppm) (Tabla 4.10). Lo anterior se explica debido al mayor aporte en la ensenada, de material de los campos agrícolas circundantes.

El porcentaje promedio de manganeso biodisponible en relación al contenido total en los sedimentos fue de 27.4 %, con los mayores valores en las estaciones 37 (80.9 %), 2 (65.1 %), 45 (55.9 %), 35 (54.8 %) y 46 (54.4 %) (anexo V). En relación a la estación 37 que es la que presentó mayor porcentaje de biodisponibilidad de este metal, se han detectado en esta localidad, concentraciones relativamente bajas (5-12 $\mu\text{g/g}$ de peso seco) en el Ostión *Crassostrea palmula*, en comparación con otras áreas del mismo sistema lagunar (Páez-Osuna *et al.*, 1993a); en tanto que para la almeja *Chione californiensis*, se reportó la más alta concentración promedio (50 $\mu\text{g/g}$ de peso seco) (Páez-Osuna *et al.*, 1993b).

Níquel (Ni)

La figura 4.49 muestra la distribución de la concentración de níquel de la fracción biodisponible, observándose que los valores máximos se ubican en las proximidades de las puntas Zopilote (estación 61) y Paredones (estación 57), en las Iguanas (estación 50), en la boca del estero de Las Puentes (estación 1) y en la estación 74; mientras que las mínimas concentraciones se registraron en Las Ratitas (estación 49), Punta Coyotes (estación 51), aguas arriba del río Culiacán (estaciones 45 y 46) y en las ventanas (estación 44). El promedio del contenido de

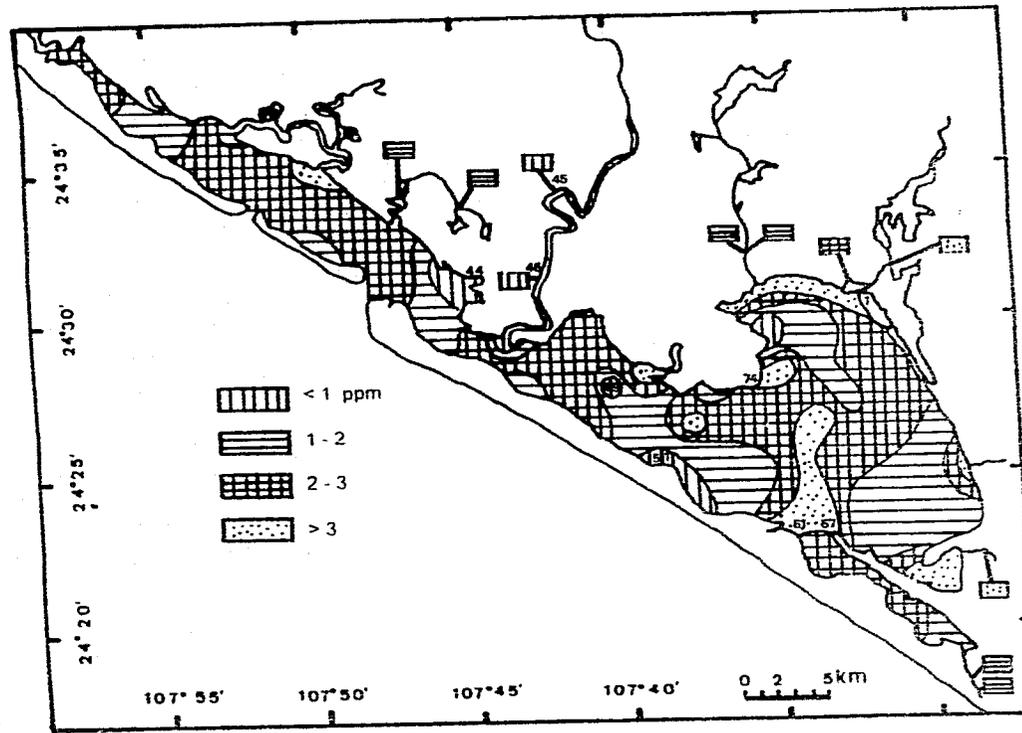


Figura 4.49.- Distribución de níquel biodisp. en sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabelón

níquel en esta fracción es de 2.6 ± 2.1 ppm, un máximo de 12.5 ppm y una concentración mínima menor a lo detectable por el método utilizado (anexo IV).

Las concentraciones de níquel biodisponible detectadas en el área de estudio son comparables a las reportadas para el río Coatzacoalcos y la laguna del Ostión (Páez-Osuna *et al.*, 1986) y ligeramente mayores a las de la Bahía de Mazatlán (Osuna-López *et al.*, 1986) y la laguna de Sontecomapan, Ver. (Ponce *et al.*, 1994) (Tabla 4.16).

El contenido de este metal en la fracción biodisponible se correlacionó con un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$) en forma inversa con el hierro total (Tabla 4.1) y con un 99.9 % ($P < 0.001$) inversamente con el hierro biodisponible y de manera directa con el carbonato de calcio, la plata y el cadmio totales y con el resto de los metales en la fracción biodisponible (a excepción del manganeso y el zinc, con los cuales no se correlacionó). Aunque la estación 76 no es de las de mayor concentración de níquel biodisponible, sí lo es en relación al contenido total de este metal, provocando un ligero "enriquecimiento" y presentando un contenido mayor al esperado de acuerdo a su concentración de carbonato de calcio (Fig. 4.50).

El ambiente sedimentario subóxico presentó una concentración promedio de níquel en la fracción biodisponible (0.9 ppm) significativamente menor que el detectado en los ambientes óxico (2.4 ppm) y supraóxico (2.4 ppm) (Tabla 4.4). Este comportamiento es similar al del hierro biodisponible.

El porcentaje promedio de biodisponibilidad de este metal con respecto a su contenido total en los sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón fue de 23.2 % (anexo V), presentándose los mayores porcentajes en las estaciones 30 (91.2 %), 60 (80.6 %), 40 (76.1 %), 32 (67.2 %) y 74 (67.1 %).

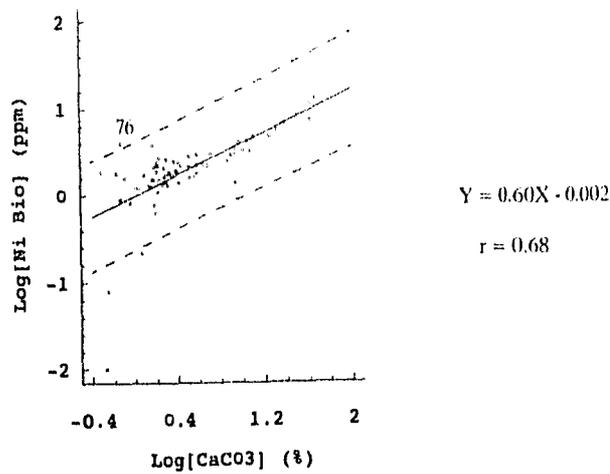


Figura 4.50.- Concentración de níquel biodisponible contra carbonato de calcio del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95% en línea discontinua.

Plomo (Pb)

El contenido de plomo en los sedimentos de la zona de estudio fluctuó entre 0.8 y 72.4 ppm, con un promedio de 27.2 ± 16.4 ppm (anexo IV). Las mayores concentraciones de registraron frente al poblado de Las Arenitas (estación 59), en las cercanías de la punta Zopilote (estaciones 61 y 58) y en la boca del estero El Tigre (estación 56); en tanto que las concentraciones menores (Fig. 4.51), se localizaron cerca de la punta Coyotes (estación 10), en el interior del estero de Las Puentes (estación 3), entre el Huichoral y la Boca La Tonina (estación 69), en el estero de Aguamitas (estación 42) y en la conexión entre Bataoto y Ensenada del Pabellón (estación 12).

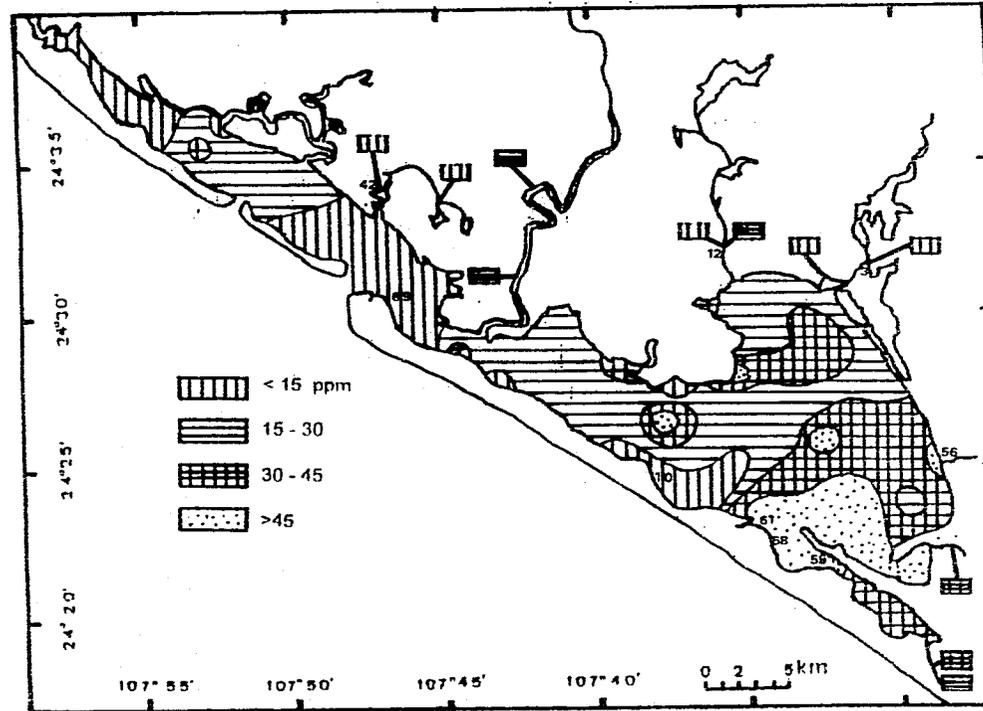


Figura 4.51.- Distribución de plomo biodisp. en sedimentos del sistema lagunar Allata-Ensenada del Pabellón.

El contenido de plomo biodisponible en los sedimentos del área de estudio son mayores a los reportados para la Bahía de Mazatlán (Osuna-López *et al.*, 1986), río Coatzacoalcos y laguna del Ostión (Páez-Osuna *et al.*, 1986) (Tabla 4.16).

La concentración de plomo biodisponible se correlacionó con un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$) directamente con la materia orgánica, aluminio, cromo, vanadio y zinc totales y cadmio biodisponible, mientras que con el 99.9 % ($P < 0.001$) inversamente con el tamaño promedio del sedimento y de manera directa con el carbonato de calcio, plata, cadmio, cobre, litio, níquel y plomo totales y cobalto, cromo, cobre y níquel biodisponibles (Tabla 4.1).

Los grupos mesohalino (36.5 ppm) y polihalino (29.8 ppm) presentaron significativamente un mayor contenido promedio de plomo biodisponible que el grupo euhalino (13.7 ppm), comportándose de manera similar que el cobre y manganeso en la misma fracción (Tabla 4.7).

En los sedimentos de la Ensenada del Pabellón se observó una concentración promedio de plomo en la fracción biodisponible (33.2 ppm) significativamente mayor que aquellos de la Bahía de Altata (14.7 ppm) y cuerpos de agua interiores (18.3 ppm) (Tabla 4.10). Esto como resultado de la distribución del tamaño de los sedimentos, así como a las condiciones de salinidad y oxígeno disuelto que imperan en cada región.

El porcentaje promedio de plomo disponible para la biota con respecto al contenido total de este metal fue de 22.8 % (anexo V), siendo las de mayor porcentaje las estaciones 58 (60.7 %), 56 (59.4 %), 61 (49.3 %), 57 (47.5 %) y 59 (47.2 %).

Zinc (Zn)

El contenido de zinc biodisponible a partir de los sedimentos osciló entre 1.5 y 23.6 ppm, promediando una concentración de 4.6 ± 3.3 ppm. Los valores máximos se ubicaron en el estero Pericón (estación 76), río Culiacán (estación 46), en la boca del estero de Aguamitas (estación 43), en el interior del estero de Ponce (estación 52) y cerca de la isla El Mapachero (estación 13); en tanto que las muestras que menor concentración de este metal en la fracción biodisponible, fueron las obtenidas frente al poblado de Altata (estación 60), en las bocas Gavilanes (estación 34) y La Tonina (estación 32) y en la zona del Huichoral (estación 31), como se muestra en la distribución de las concentraciones de este metal en el área de estudio (Fig. 4.52).

La concentración de zinc en esta fracción en los sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón es comparable a la reportada para la Bahía de Mazatlán (Osuna-López *et al.*, 1986), río Coatzacoalcos y laguna del Ostión (Páez-Osuna *et al.*, 1986) y ligeramente mayor a las de la laguna de Sontecomapan, Ver. (Ponce *et al.*, 1994) y Bahía San Quintín, B. C. (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1991) (Tabla 4.16).

El contenido de zinc biodisponible se correlacionó con un nivel de significancia del 95 % ($P < 0.05$) directamente con aluminio, cadmio, hierro y plomo totales, en tanto que con el 99.9 % ($P < 0.001$) inversamente con el tamaño promedio del sedimento y de forma directa con el carbono orgánico, plata, cobalto, cromo, cobre, litio, níquel, vanadio y zinc totales y hierro biodisponible (Tabla 4.1). La estación 76 que posee la mayor concentración de zinc en esta fracción, sobrepasa los límites de predicción del 95 % al graficar la regresión lineal entre esta variable y el tamaño promedio del sedimento (Fig. 53a). Comportamiento similar tuvieron las estaciones 46 y 47 con respecto al carbono orgánico, dichas estaciones también tienen altos valores de este parámetro (Fig. 53b).

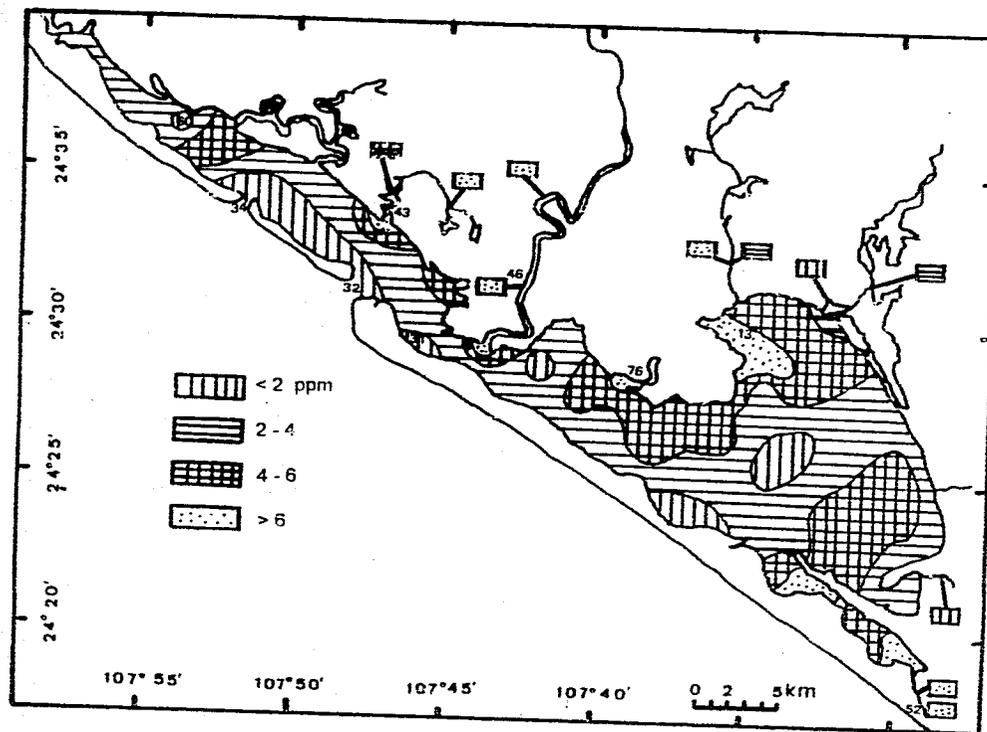


Figura 4.52.- Distribución de zinc biodisp. en sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

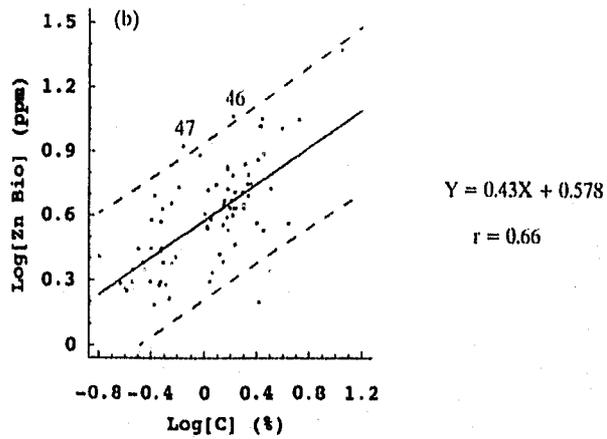
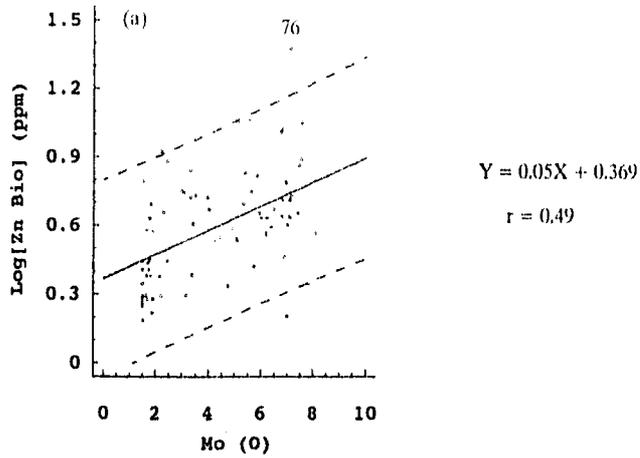


Figura 4.53.- Concentración de zinc biodisponible contra tamaño promedio (a) y carbono orgánico (b) del sedimento del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón. Línea de regresión lineal en línea continua y límites de predicción 95 % en línea discontinua.

En relación a la biodisponibilidad potencial con respecto a la concentración total de este metal, se observó un porcentaje promedio de 6.3 % (anexo V), con los mayores porcentajes en las estaciones 12 (21.7 %), 76 (15.9 %), 41 (13.6 %), 39 (12.4 %) y 47 (11.5). Con respecto a las dos últimas estaciones, a pesar que la biodisponibilidad potencial es ligeramente mayor en la estación 39 que en la 47, Páez-Osuna *et al.* (1993a), encontraron una concentración considerablemente menor en la primera ($< 750 \mu\text{g/g}$ de peso seco) que en la segunda ($> 3000 \mu\text{g/g}$ de peso seco) en el año 1990 para el Ostión *Crassostrea palmula*, evidenciando que la acumulación de este metal en este bivalvo no sólo depende de su disponibilidad potencial, sino que, además, influyen otros factores, tanto ambientales como inherentes al mismo organismo (sexo, edad, etc.). Por otra parte, Páez-Osuna *et al.* (1993b) detectaron, en abril de 1990, mayor contenido de zinc en la almeja *Chione subrugosa* colectada en la estación 47 ($1218 \mu\text{g/g}$ de peso seco), que en aquella obtenida en la estación 73 ($99 \mu\text{g/g}$ de peso seco), cuyo porcentaje de biodisponibilidad potencial es también menor (2.4 %).

Finalmente se puede decir que el porcentaje de biodisponibilidad de los metales analizados en esta fracción con respecto a su correspondiente contenido total fue de la siguiente manera:

Fe < Cr < Zn < Cu < Co < Pb < Ni < Mn < Cd

4.4 Factor de Enriquecimiento e Índice de Geo-acumulación

Los promedios de los factores de enriquecimiento de los metales, considerando el aluminio como elemento conservativo, mostraron que para los sedimentos del

sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, sólo el plomo (3.6) y la plata (2.2), presentaron valores por encima de 1.0, significando que el resto de los elementos mostraron de manera general un proceso de "empobrecimiento", explicado como la dilución de sus correspondientes concentraciones por otros materiales, como pueden ser materia orgánica y carbonato de calcio (anexo VI). Sin embargo, todos los metales tuvieron enriquecimiento en algunas localidades en particular, sobresaliendo en este sentido aquellas estaciones que consistentemente se hallaron dentro de las cinco más enriquecidas por los metales, como son la boca gavilanes (estación 34), estero Aguamitas (estación 42), alrededor de Las Ventanas (estación 44 y 69), río Culiacán (estación 45), Punta Paredones (estación 57).

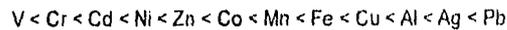
La secuencia de los factores de enriquecimiento de los metales empleando aluminio como elemento conservativo fue:

$$V < Cd < Cr < Ni = Zn < Co < Li < Mn < Fe < Cu < Ag < Pb$$

En relación al uso de litio para el cálculo de los factores de enriquecimiento de los metales, se observó que el plomo (5.4), plata (3.5), aluminio (1.6), cobre (1.2), hierro (1.2) y manganeso (1.1), presentaron valores promedio mayores a la unidad, en tanto que el resto de los metales fueron diluidos por otros materiales, por lo que aparentemente mostraron "empobrecimiento" (anexo VII). Al igual que en el caso de aquellos factores obtenidos utilizando aluminio como conservativo, de manera particular todos los metales estudiados fueron enriquecidos en algunas localidades, destacando al respecto Punta Zopilote (estación 30), la desembocadura del río Culiacán (estación 47), Las iguanas (estación 50), Punta Paredones (estación 57), Las Ratas (estación 67), y las estaciones 69 y 74.

El orden en la magnitud del valor promedio de los factores de enriquecimiento de los metales con respecto al litio es similar al observado para los calculados en relación

al aluminio, a excepción de un cambio en la posición del cadmio y cromo, y de la diferencia entre níquel y zinc:



Con respecto al índice de geo-acumulación y de acuerdo a la Tabla 3.4 de intensidad de la contaminación (Müller, 1979), se observó que los sedimentos del área de estudio presentaron un Índice entre 0 y 1 para plata, aluminio, cobalto, cobre, hierro, litio, manganeso y plomo, perteneciendo a la clase 1, es decir entre no contaminados a moderadamente contaminados; en tanto que para cadmio, cromo, níquel, vanadio y zinc, los Índices son menores a cero, clasificándose como no contaminados (anexo VIII); sobresaliendo la conexión entre la Ensenada del Pabellón y la laguna de Bataoto (estaciones 12b), la parte sur de La Atascosa (estación 20), y los esteros de Ponce (estación 54) y El Pericón (estación 76).

La serie de valores del Índice de geo-acumulación de menor a mayor también fue similar a las relacionadas con los factores de enriquecimiento, siendo ésta:



Debido a que litio y aluminio son considerados elementos conservativos, se puede decir que aquellos metales con índices menores, presentan una dilución por la presencia de otros materiales, en tanto que los que tuvieron mayores índices muestran un enriquecimiento, tal es el caso de plata y plomo.

En lo que respecta, a la relación entre los factores de enriquecimiento y el índice de geo-acumulación con la biodisponibilidad potencial, se observó que el plomo con los mayores promedios de factores ($F-E_{Al} = 3.6$ y $F-E_{Li} = 5.4$) e índice ($I_{geo} = 0.8$), presentó un porcentaje de disponibilidad potencial para la biota, con respecto a su contenido total, con valor intermedio (22.8 %). El hierro y cobre con factores e

Índices similares a los elementos conservativos, presentaron porcentajes de biodisponibilidad bajos (1.0 y 7.1 %, respectivamente). En tanto que en el caso contrario, el cadmio con el mayor porcentaje de biodisponibilidad (48.7 %), es el metal con menor Índice de geo-acumulación ($I_{geo} = -0.3$) y se encuentra entre los tres menores factores de enriquecimiento, tanto con relación al aluminio como respecto al litio ($F-E_{Al} = 0.7$ y $F-E_{Li} = 0.4$).

El aluminio presentó enriquecimiento al utilizar el litio como elemento conservativo ($F-E_{Li} = 1.6$), y su Índice de geo-acumulación ($I_{geo} = 0.3$) es mayor que el de litio ($I_{geo} = 0.1$), además de tener un coeficiente de correlación con el tamaño promedio del sedimento, ($r_{M2-Al} = 0.83$) menor que el de dicho elemento ($r_{M2-Li} = 0.95$), por lo que se considera que para el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón resultó mejor elemento para normalizar las concentraciones de metales pesados el litio.

5. CONCLUSIONES

1. Entre las localidades que presentan anomalías en sus concentraciones de metales pesados totales con respecto a los elementos conservativos (aluminio y litio), sobresalen por ser consistentes los siguientes: para la plata las estaciones 50, 57 y 74, ubicadas en puntos que reciben descargas agrícolas; para el cobalto, las estaciones 29, 30, 33, 34 y 76, localizándose esta última en la desembocadura del estero El Pericón, el cual capta los escurrimientos agrícolas de la porción central de la cuenca de drenaje asociada; para el cromo, las estaciones 50, 70 y 76; para el cobre, solamente la estación 12, que se sitúa en el estero que une la laguna de bataoto con el sistema lagunar principal; para el hierro, estaciones 15 y 39, de manera similar se hallan ubicadas en las desembocaduras de los esteros que reciben escurrimientos agrícolas; para el manganeso, las estaciones 1, 2 y 3, todas relacionadas con los escurrimientos provenientes de la laguna Chiricahueto; para el níquel, la estación 57; para plomo, las estaciones 69 y 74; para vanadio, las estaciones 47 y 57, correspondiendo la primera de ellas a la desembocadura del río Culliacán; y para el Zinc, las estaciones 42, 43, 44 y 45, ubicándose esta última aguas arriba dentro del cauce del río Culliacán, mientras que las primeras están relacionadas con las descargas del estero de Las Aguamitas, el cual también recibe escurrimientos agrícolas.
2. En este sistema lagunar, el contenido de oxígeno disuelto en el agua que suprayace los sedimentos, juega un papel importante en los procesos de adsorción; presentándose altas concentraciones de cadmio total y cadmio, hierro y níquel en la fracción biodisponible asociadas a los ambientes sedimentarios óxico y supraóxico, en tanto que para el cromo total sucedió lo contrario.

3. En el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, la concentración de metales pesados en las diferentes fracciones está influenciada por la salinidad del agua suprayacente, observándose que altos contenidos de compuestos clorados favorecen la retención de los metales en forma disuelta y evita su precipitación. Para el caso de plata, aluminio, cromo, cobre, hierro, litio, manganeso, níquel, plomo y zinc, se observó en general la siguiente tendencia: que a mayor salinidad de las aguas se tuvieron concentraciones menores de los metales en los sedimentos.

4. En general, la concentración de los metales pesados fue mayor en la Ensenada del Pabellón, seguida de los cuerpos de agua interiores (lagunas Bataolo y Chiricahueto, y esteros asociados), en tanto que los valores más pequeños se detectaron en la Bahía de Altata, como producto del mayor aporte de material de los campos agrícolas hacia la ensenada, además de las condiciones hidrodinámicas, fisico-químicas y granulométricas de esta región (baja energía, salinidades intermedias, altos contenidos de carbono orgánico, sedimentos finos).

5. Las altas concentraciones de metales pesados están relacionadas con sedimento fino y elevado contenido de carbono orgánico. El análisis de correlación permite sugerir que las concentraciones de plata, aluminio, cromo, cobre, litio, níquel, vanadio y zinc en los sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, están controladas por el tamaño medio de la partícula del sedimento, el contenido de materia orgánica y la concentración de hierro (óxidos de hierro). Mientras que, los niveles de cobalto están controlados solamente por los dos primeros factores, y en el caso del plomo, por los dos últimos. En tanto que las variaciones en las concentraciones de manganeso y cadmio no se pueden explicar con dichos factores.

6. Se observó que para la fecha del muestreo, en las localidades Las Iguanas (estación 50), puntas Zopilote (estación 61) y Paredones (estación 57), estero El Pericón (estación 76) y en la estación 74, todas ellas situadas dentro de la Ensenada del Pabellón, se detectaron altas concentraciones de metales pesados en la fracción biodisponible, además de los mayores porcentajes de disponibilidad potencial para la biota con respecto al contenido total del metal correspondiente. El orden de magnitud de dichos porcentajes fue $Fe < Cr < Zn < Cu < Co < Pb < Ni < Mn < Cd$.

7. En relación al factor de enriquecimiento utilizando aluminio como elemento conservativo se encontró que solamente el plomo (F-E=3.6) y la plata (F-E=2.2), presentaron valores mayores a la unidad, mientras que al emplear el litio como elemento conservativo, se observaron valores mayores a uno para el plomo (F-E=5.4), plata (F-E=3.5), aluminio (F-E=1.6), cobre (F-E=1.2), hierro (F-E=1.2) y manganeso (F-E=1.1). Observándose que cuando se utiliza el aluminio, las localidades de mayor enriquecimiento fueron la boca Gavilanes (estación 34), estero Aguamitas (estación 42), alrededor de Las Ventanas (estaciones 44 y 69), río Culiacán (estación 45) y Punta Paredones (estación 57); en tanto que, empleando litio como elemento conservativo, las zonas de mayor enriquecimiento fueron Punta Zopilote (estación 30), la desembocadura del río Culiacán (estación 47), Las Iguanas (estación 50), Las Ratitas (estación 67), estación 74 y nuevamente Punta Paredones (estación 57) y cerca de Las Ventanas (estación 69).

8. De acuerdo al índice de geo-acumulación promedio para cada metal, los sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón están entre no contaminados y moderadamente contaminados con plomo, plata, aluminio, cobre, hierro, litio, cobalto y manganeso y no contaminados con zinc, níquel, cromo, vanadio y cadmio. La secuencia de magnitud fue $Cd < V < Cr < Ni < Zn < Mn < Co < Li < Fe < Cu < Al < Ag < Pb$.

9. El plomo con mayores factores de enriquecimiento e índice de geo-acumulación presentó una disponibilidad potencial para la biota intermedia (22.8 %), en tanto que el cadmio con mayor biodisponibilidad (48.7 %) mostró el menor índice de geo-acumulación.

10. Se considera que para el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón el litio funcionó mejor que el aluminio como elemento conservativo para normalizar las concentraciones de los metales pesados.

6. RECOMENDACIONES

Considerando la importancia de mantener un equilibrio entre las diferentes actividades productivas que inciden en la zona de estudio, resaltando la pesquera y agrícola, las necesidades inherentes a los asentamientos humanos y la protección al ambiente, es necesario efectuar un monitoreo a mediano plazo que permita definir la capacidad de respuesta del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, a la vez que se promueva el empleo de agroquímicos menos contaminantes, así como la implementación o mejora, si es el caso, de los procesos para el tratamiento de aguas municipales.

Dicho monitoreo deberá contemplar principalmente las áreas donde se observó la mayor disponibilidad potencial de los metales pesados para la biota, además de los valores más altos de los factores de enriquecimiento e índice de geoacumulación. Asimismo, se requiere un estudio más detallado de los procesos de ad/desadsorción de las diferentes especies químicas en que se presentan los metales en los sedimentos y su incorporación y acumulación en los organismos, poniendo especial atención en el impacto que estos contaminantes provoquen en las comunidades bióticas del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

Además de los parámetros analizados en este estudio, se considera conveniente incluir en futuros trabajos en la zona de estudio, la determinación de concentraciones de pesticidas y su correspondiente comportamiento en el cuerpo lagunar.

7. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por el apoyo logístico para la realización de esta investigación, brindado a través del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, sede del Proyecto Académico de Especialización, Maestría y Doctorado en Ciencias del Mar, en particular a la Estación Mazatlán.

Al Dr. Federico Páez Osuna, quien mediante sus valiosos consejos y orientaciones en la dirección de esta tesis, compartió conmigo sus conocimientos. A los Drs. María Green Ruiz, Arturo Carranza Edwards y Eduardo Aguayo Camargo, y al M. en C. Isidro Osuna López, miembros del Jurado de Examen de Grado, por sus observaciones y recomendaciones, las cuales enriquecieron este documento. Al Dr. Alejandro Álvarez Arellano, Profesor Investigador de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, por las oportunas críticas a lo largo de la realización de esta investigación.

A los Biols. Mariana González, Gildardo Izaguirre, Héctor Zazueta y Sr. Luis Valdés por su colaboración durante el muestreo del material analizado en el presente trabajo. Al Quím. Humberto Bojórquez Leyva, Técnico Académico del Laboratorio de Química Marina y Geoquímica, por sus consejos relacionados con las técnicas empleadas, al Pas. de M. en C. Martín Soto, por las últimas lecturas de absorbancia con el Espectrofotómetro y a todos mis compañeros del Laboratorio por las recomendaciones brindadas entre las amenas pláticas que nunca faltaron.

A la empresa paraestatal Petróleos Mexicanos, en especial al Lic. Cuauhtemoc Santa Ana Seuthe, Ex-Director Corporativo de Administración, por el apoyo brindado durante la realización de mis estudios de maestría, los cuales culminan

con la presentación de este documento. Asimismo, al Instituto Nacional de la Pesca, particularmente al Dr. Antonio Díaz De León Corral y M. en C. Oscar Manuel Ramírez Flores, Presidente y Director General de Investigación en Procesos para el Desarrollo Sustentable del INP, respectivamente, por las facilidades proporcionadas en la recta final.

Al M. en C. Avaro Fernández Flores, por sus comentarios en el momento de escribir este documento. Así como a todas aquellas personas que de alguna manera colaboraron para que el presente trabajo llegara a buen fin.

8. 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 Jordan 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. *Environ. Technol. Lett.* 1: 518-527.
- ALBERTS, J. J., M. T. PRICE Y M. KANIA, 1990. Metal concentrations in tissues of *Spartina alterniflora* (Loisel.) and sediments of Georgia Salt Marshes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 30 (1): 47-58.
- ALVAREZ-ARELLANO, A. Y F. OSUNA-PAEZ, 1995. Estudio geoquímico de siete muestras de las formaciones fosfáticas del sur de la Península de Baja California, México. *Geofísica Internacional*, 34: 36-42.
- ALLOWAY, B. J., 1990. Heavy metals in soils. Blackie and Son Ltd. 339p.
- BADER, R. G., 1954. The role of organic matter in determining the distribution of pelecypods in marine sediments. *J. Mar. Res.*, 13:32-47.

----- 1962. Some experimental studies with organic compounds and minerals.
En: Symposium on the Environmental Chemistry of Marine Sediments.
MARSHALL, N. (ed) Narragansett Marina Lab. Occ. Publ. 1:42-57.

BERNER, R., 1981. A new geochemical classification of sedimentary environments. *Jour. Sedim. Petrol.* 51 (2): 359-365.

BREDER, R., 1982. Optimization studies for reliable trace metals analysis in sediments by atomic absorption spectrometric methods. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 313:395-402.

BRYAN, G. W. Y W. J. LANGSTON, 1992. Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: a review. *Environ. Pollut.* 76: 89-131.

BUAT-MÉNARD, P, 1979. Influence de la retombée atmosphérique sur la chimie de métaux en trace dans le matière en suspension de l'Atlantique Nord. Thèse Doct. Etat, Univ. Paris VII, 434 p.

BYRD, J., W.L. KWANG, S. L. DONG, R. G. SMITH Y H. L. WINDOM, 1990. The behavior of trace metals in the Geum Estuary, Korea. *Estuaries* 13(1):8-13.

CARRANZA-EDWARDS, A., M. GUTIERREZ-ESTRADA Y R. RODRIGUEZ-TORRES, 1975. Unidades morfo-tectónicas continentales de las costas mexicanas. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nat. Autón. México.* 2(1): 81-88.

- CARRUESCO CH. E Y. LAPAQUELLERIE, 1985. Heavy metal pollution in the Arcachon Basin (France): Bonding states. *Marine Pollution Bulletin* 16(12): 493-497.
- CINVESTAV, 1989. Diagnóstico y evaluación del impacto biológico de la contaminación en la Bahía de Acapulco. CINVESTAV-IPN-Unidad Mérida. Informe final 85 pp.
- 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-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.
- FOLK, R., 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Pub. Co., Austin, Texas, 151p.
- FOLK, R. Y M. WARD, 1957. Brazos river bar: Study of the significance of grain size parameters. *Jour. Sedim. Petrol.* 27(1): 3-26.
- FORSTNER, U., 1980. Inorganic pollutants, particulary heavy metals 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. *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer-Verlag, Germany, 486p.

- GARCIA, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Inst. Geog. Univ. Nat. Autón. México. 246p.
- GOMEZ-NOGUERA, S., 1993. Relación entre la fauna meiobentónica y los factores ambientales de la laguna Ensenada del Pabellón, Sin. Tesis de Maestría. Fac. Ciencias, Univ. Nat. Autón. México, 69 pp.
- GONZALEZ, J., B. BOUTIER, J. CHIFFOLEAU, D. AUGER, J. NOEL E. I. TRUQUET, 1991. Distribution of Cd and Hg in the Bay of Marennes-Olerón. *Oceanologica Acta* 14 (6): 559-568.
- GONZALEZ-FARIAS, F. Y M. HERNANDEZ-GARZA, 1989. Aspectos ecológicos de la materia orgánica en lagunas costeras de México. Cap. 4.: 79-105 En: ROSA-VELEZ, J. DE LA Y F. GONZALEZ-FARIAS (eds) Temas de oceanografía biológica en México. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C., 337 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.
- GUPTA, K. S. Y K. Y. GHEN, 1975. Partitioning of trace metals in selective chemical fractions of nearshore sediments. *Environ. Lett.* 10: 129-158.
- GUTIERREZ-GALINDO, E. A., G. FLORES, R. PRO, J. A. VILLAESCUSA Y J. A. GONZALEZ, 1991. Metales pesados en tejido y en biodepositos

sedimentarios del ostión *Crassostrea gigas* de 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.

HORNUNG, H., M. KROM AND Y. COHEN, 1989. Trace metal distribution in sediments and benthic fauna of Haifa Bay, Israel. Estuarine, Coastal and Shelf Sciences 29(1): 43-56.

INMANN, D. Y C. NORDSTROM, 1971. On the tectonic and morphologic classification of coasts. J. Geol. 79(1):1-21.

INSTITUTO DE GEOLOGIA, 1978. Atlas geológico y evaluación geológico minera del Estado de Sinaloa. Rodríguez, R. y D. Cordoba (eds). Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. Hojas I, "Mocorito"; II, "Cullacán"; III, "Tamazula" y IV, "La Peña".

INSTITUTO NACIONAL DE LA PESCA, 1994. Atlas pesquero de México. Secretaría de Pesca, México, 234 pp.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1985. Intercalibration of analytical methods on marine environmental samples: trace element measurements on mussel homogenate (MA-M-2/TM), Report No. 26, Monaco.

----- 1990. The fate of agrochemicals in tropical coastal lagoon ecosystems. Progress Report Year 1. Contract No. CI 1-0387-ME (JR). Monaco.

- 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.
- KRUMBEIN, W. Y F. PETTIJOHN, 1938. Manual of sedimentary petrography. D Appleton-Century, New York, 549 pp.
- KRUMGALZ, B. S., G. FAINSHTEIN, L. GORFUNKEL E Y. NATHAN, 1990. Fluorite in recent sediments as a trap of trace metal contaminants in an estuarine environment. Estuarine, Coastal and Shelf Science 30(1): 1-15.
- LANKFORD, R., 1977. Coastal lagoons of Mexico their origin and classification. En: M. WILEY (ed.), Estuarine Processes, Vol. II, Circulation, sediments and transfer of material in the estuary. Academic Press Inc. New York, 182-215.
- LOPEZ-RAMOS, E., 1980. Geología de México. Tomo II. Fac. Ing. Univ. Nat. Autón. México, 454p.
- LORING, D. H., 1990. Lithium - a new approach for the granulometric normalization of trace metal data. Marine Chemistry 29: 155-168.
- Y R. T. RANTALA, 1977. Geochemical analysis of marine sediments and suspended particulate matter. Fisheries and marine service. Technical report 700, 44pp.
- LUOMA, S. N., Y. B. HO Y G. W. BRYAN, 1995. Fate, bioavailability and toxicity of silver in estuarine environments. Marine Pollution Bulletin 31(1-3): 44-54.

MARTIN, M., M. D. STEPHENSON, D. R. SMITH, E. A. GUTIERREZ-GALINDO Y G. FLORES-MUÑOZ, 1988. Use of silver in mussel as a tracer of domestic wastewater discharge. *Marine Pollution Bulletin* 19: 512-520.

MEGUELLATI, N., D. ROBBE, P. MARCHANDISE Y M. ASTRUC, 1983. A new chemical extraction procedure in the fractionation of heavy metals in sediments. *Interpretation. En: Proceedings of the International Conference. Heavy metals in the environment September 1983, Germany, 4p.*

MÜLLER, G., 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen seit 1971. *Umschau* 79(24): 778-783.

OSUNA-LOPEZ, J. I., 1981. Geoquímica de algunos oligoelementos presentes en las aguas hipersalinas y sedimentos de la bahía de Cúcuta, Sinaloa. Tesis de Maestría, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 101 pp.

OSUNA-LOPEZ, J. I., F. PAEZ-OSUNA Y P. ORTEGA-ROMERO, 1986. Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn en los sedimentos del puerto y antepuerto de Mazatlán. *Ciencias Marinas* 12(2): 35-45.

PAEZ-OSUNA, F., M. L. FONG-LEE, H. FERNANDEZ-PEREZ, R. LOZANO-SANTACRUZ Y G. VILLASEÑOR, 1984. Heavy metals and mineralogy in sediment cores from a tropical coastal lagoon, México. *Ind. J. Mar. Science* 13:153-158.

PAEZ-OSUNA, F., A. V. BOTELLO Y S. VILLANUEVA, 1986. Heavy metals in Coatzacoalcos estuary and Ostion lagoon, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 17(11): 516-519.

PAEZ-OSUNA, F. Y J. I. OSUNA-LOPEZ, 1987. Acumulación de metales pesados en Milla: una laguna costera tropical. *Ciencias Marinas* 13(3): 97-112.

----- 1990a. Heavy metals 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.

----- 1990b. Aspectos genéticos de los sedimentos marinos de la boca del Golfo de California, evidenciados por la geoquímica de sus metales pesados. *Geofísica Internacional*, 29: 47-58.

PAEZ-OSUNA, F., H. BOJORQUEZ-LEYVA, G. IZAGUIRRE-FIERRO, J. I. OSUNA-LOPEZ Y F. GONZALEZ-FARIAS, (1991). Carbono y fósforo en los sedimentos de un sistema lagunar asociado a una cuenca de drenaje agrícola. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Univ. Nal. Autón. México* 18:113-122.

PAEZ-OSUNA, F., J. I. OSUNA-LOPEZ, G. IZAGUIRRE-FIERRO Y H. M. ZAZUETA-PADILLA, 1993a. Heavy metals in oysters from a subtropical coastal lagoon associated with an agricultural drainage basin. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 50: 696-702.

- 1993b. Heavy metals in clams from a subtropical coastal lagoon associated with an agricultural drainage basin. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 50: 915-921.
- 1994. Trace metals in mussels from the Ensenada del Pabellón lagoon, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 28(2): 124-126.
- PANDARINATH, 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.
- PENA, G. Y B. PICOT, 1991. Métaux traces dans les sédiments d'une lagune méditerranéenne: l'étang de Thau. *Oceanologica Acta* 14(5): 459-472.
- PERAZA-VIZCARRA, R., 1973. Características hidrográficas y distribución de los sedimentos en el sistema estuarino Bahía de Altata-Ensenada del Pabellón, Sin. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, México.
- 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, UAMI, UNAM* 2: 127-140.
- PODER EJECUTIVO FEDERAL, 1996. Programa hidráulico 1995 - 2000. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México, D. F., 54 pp.

PONCE, G., A. GONZALEZ, Y L. CALVA, 1994. Evaluación del impacto ambiental de la laguna de Sontecomapan, Veracruz. Serie Grandes Temas de Hidrobiología: Los Sistemas Litorales, UAMI, UNAM 2: 115-125.

ROSALEZ-HOZ, L., A. CARRANZA-EDWARDS Y U. ALVAREZ-RIBERA, 1986a. Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado Lagoon System, Veracruz, Mexico. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 13 (3): 19-28.

----- 1986b. Sedimentological and chemical studies in sediments from Papaloapan River, Mexico. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México 13 (3): 263-271.

ROSALEZ-HOZ, L., A. CARRANZA-EDWARDS Y S. SANTIAGO-PEREZ, 1994. Heavy metals in rocks and stream sediments from the northwestern part of Baja California, Mexico. Rev. Int. Contam. Ambient. 10(2): 77-82.

SALGADO-BARRAGAN, J., 1993. Caracterización de las comunidades de macromoluscos y crustáceos decápodos del Sistema Lagunar de Ensenada del Pabellón, Sinaloa, México: Composición, taxonomía, diversidad, abundancia y distribución. Tesis de Maestría. Fac. Ciencias, Univ. Nal. Autón. México, 117 pp.

SANUDO-WILLHELMY, S. Y R. FLEGAL, 1992. Anthropogenic silver in the southern California Bight: a new tracer of sewage in coastal waters. Environ. Sci. technol. 26: 2147-2151.

- 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. BURNEY, 1990. Interpretation of metal concentrations in estuarine sediments of Florida using Aluminum as a reference element. *Estuaries* 13(3): 227-235.
- SECRETARIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO, (inédito). Análisis teórico de la estabilidad de acceso a la Bahía de Altata. Depto. de Ing. Hidraul. y Pesq. 1969-1970.
- SHEPARD, F., 1973. *Submarine geology*. Harper and Row. New York, 517p.
- STUARDO, J. Y M. VILLARROEL, 1976. Aspectos ecológicos y distribución de los moluscos en las lagunas costeras de Guerrero, México. *An. Centro Cienc. Mar y Limnol. Univ. Nat. Autón. México* 3(1):65-92.
- THOMAS, R. Y R. FRANK, 1987. Introduction: Problems with In-Place Pollutants. En: THOMAS R., R. EVANS, A. HAMILTON, M. MUNAWAR, T. REYNOLDSON Y H. SADAR (eds) *Ecological effects of In Situ sediment contaminants*. *Hydrobiologia* 149:1-4.
- VILLANUEVA, S. Y A. V. BOTELLO, 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 8(1): 47-61.

VOUTSINOI-TALIADOURI, F. Y. S. VARNAVAS, 1995. Geochemical and sedimentological patterns in the Thermaikos Gulf of Aqaba

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.

WILSON, J., 1994. The role of bioindicators in estuarine management. *Estuaries* 3(1a): 94-101.

A N E X O S

ANEXO 1

Oxígeno disuelto y salinidad en el agua de fondo y carbón orgánico y carbonato de calcio en los sedimentos del sistema lagunar de Altata - Ensenada del Pabellón.

Estacion	O ₂ (mg/L)	Clasificación (Bernier, 1981)	Salinidad (0/00)	Nomenclatura (Wilson, 1994)	C-org (%)	CaCO ₃ (%)
1	6.07	Supraóxico	N D	Oligohalina	3.13	24.1
2	3.99	Oxico	N D	Oligohalina	2.81	12.8
3	5.51	Oxico	N D	Oligohalina	1.10	4.9
4	5.44	Oxico	12.24	Mesohalina	1.97	1.9
5	5.49	Oxico	18.70	Polihalina	1.64	2.0
6	5.49	Oxico	17.02	Polihalina	1.13	20.7
7	7.32	Supraóxico	25.36	Polihalina	1.05	8.6
8	6.22	Supraóxica	25.66	Polihalina	1.02	7.4
9	6.73	Supraóxico	27.29	Polihalina	0.48	3.6
10	6.61	Supraóxico	27.26	Polihalina	0.29	1.6
11	N D	Anóxico	N D	Oligohalina	2.15	8.5
12	N D	Anóxico	N D	Oligohalina	2.04	2.0
12b	---	---	---	---	2.52	1.0
13	2.35	Subóxico	13.82	Mesohalina	2.64	0.9
14	5.08	Oxico	22.91	Polihalina	1.60	1.5
15	6.06	Supraóxico	27.27	Polihalina	1.06	1.5
16	4.24	Oxica	5.63	Mesohalina	2.61	5.2
17	6.07	Supraóxico	22.04	Polihalina	1.51	11.6
18	6.72	Supraóxico	22.78	Polihalina	1.62	2.6
19	6.93	Supraóxico	26.44	Polihalina	1.72	2.1
20	6.94	Supraóxico	10.68	Mesohalina	1.65	2.0
21	7.22	Supraóxica	16.15	Mesohalina	2.00	1.7
22	6.39	Supraóxico	16.70	Mesohalina	1.74	2.3
23	6.45	Supraóxico	21.91	Polihalina	1.37	3.9
24	7.70	Supraóxico	22.07	Polihalina	2.01	3.3
25	7.02	Supraóxico	23.96	Polihalina	1.40	2.4
26	6.05	Supraóxico	23.40	Polihalina	1.06	3.9
27	6.89	Supraóxico	26.42	Polihalina	0.47	17.9
28	5.49	Oxico	26.16	Polihalina	0.46	10.2
29	4.42	Oxico	27.79	Polihalina	0.57	3.3
30	4.06	Oxico	27.88	Polihalina	0.39	2.1
31	6.06	Supraóxico	33.68	Euhalina	0.25	0.5
32	5.06	Oxico	34.29	Euhalina	0.26	3.9
33	8.72	Supraóxico	34.13	Euhalina	0.51	1.9
34	4.46	Oxico	34.58	Euhalina	0.54	1.9
35	4.34	Oxico	34.65	Euhalina	3.20	2.4
36	6.40	Supraóxico	34.90	Euhalina	0.35	1.7
37	5.85	Oxico	35.34	Euhalina	0.32	2.4
38	6.77	Oxico	35.09	Euhalina	0.29	1.5
38	6.70	Supraóxico	34.96	Euhalina	1.22	1.2
40	6.34	Supraóxico	34.38	Euhalina	0.47	11.3

ANEXO I (continuación)

Estacion	O2 (mg/L.)	Clasificación (Berner, 1981)	Salinidad (0/00)	Nomenclatura (Wilson, 1994)	C.org (%)	CaCO3 (%)
41	3.47	Oxico	29.38	Polihalina	2.16	0.8
42	4.66	Oxico	34.61	Euhalina	2.13	0.7
43	7.01	Supraoxico	34.63	Euhalina	2.73	1.7
44	7.17	Supraoxico	32.88	Euhalina	0.42	1.1
45	13.08	Supraoxico	N D	Oligohalina	0.92	0.5
46	6.33	Supraoxico	6.36	Mesohalina	1.65	0.6
47	2.26	Suboxico	23.10	Polihalina	0.89	0.7
48	7.20	Supraoxico	31.82	Euhalina	0.40	8.6
49	6.73	Supraoxico	28.81	Polihalina	0.49	1.9
50	6.89	Supraoxico	27.78	Polihalina	0.67	42.0
51	6.87	Supraoxico	27.38	Polihalina	0.49	1.2
52	4.26	Oxico	24.64	Polihalina	6.23	1.5
53	3.68	Oxico	26.40	Polihalina	2.80	1.1
54	5.11	Oxico	27.67	Polihalina	2.66	1.4
56	5.86	Oxico	26.41	Polihalina	2.27	3.3
68	5.17	Oxico	N D	Oligohalina	4.40	11.8
67	6.44	Supraoxico	26.75	Polihalina	0.34	31.8
68	8.73	Supraoxico	26.76	Polihalina	1.43	4.5
69	6.23	Supraoxico	26.69	Polihalina	1.50	2.6
60	----	----	----	----	0.42	1.3
61	----	----	----	----	1.39	46.7
62	----	----	----	----	1.30	9.3
63	----	----	----	----	1.72	1.6
64	----	----	----	----	1.15	7.9
65	----	----	----	----	0.65	1.6
66	----	----	----	----	0.47	2.0
67	----	----	----	----	0.23	2.8
68	----	----	----	----	0.81	1.6
69	----	----	----	----	0.18	1.5
70	----	----	----	----	3.88	1.6
71	----	----	----	----	1.56	1.9
72	----	----	----	----	1.63	2.5
73	----	----	----	----	1.47	2.0
74	----	----	----	----	1.61	42.0
75	----	----	----	----	0.40	1.7
76	----	----	----	----	11.15	0.7
Media	5.95		25.85		1.52	5.9
Dev. est.	1.69		7.45		1.61	9.5

ANEXO II

Clasificación granulométrica de los sedimentos del sistema lagunar Altata - Ensenada del Pabellón.

Estac.	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	NOMENCLATURA Shepard (1954)	M _z (Ø)	σ _z (Ø)	NOMENCLATURA Folk y Ward (1957)
1	0.00	69.67	40.33	Limo-arcilloso	7.81	2.21	Limo muy fino Muy mal selecc.
2	67.89	24.56	17.55	Arena-limosa	4.18	3.46	Limo grueso Muy mal selecc.
3	71.27	20.68	8.05	Arena-limosa	3.16	2.82	Arena muy fina Muy mal selecc.
4	2.10	71.93	26.97	Limo-arcilloso	7.07	2.13	Limo muy fino Muy mal selecc.
6	6.91	66.07	28.02	Limo-arcilloso	6.95	2.48	Limo fino Muy mal selecc.
6	41.68	41.99	16.33	Limo-arenoso	4.86	3.23	Limo grueso Muy mal selecc.
7	60.03	35.39	14.68	Arena-limosa	4.40	3.26	Limo grueso Muy mal selecc.
8	70.83	16.94	13.23	Arena-limosa	3.41	3.21	Arena muy fina Muy mal selecc.
9	83.36	12.63	4.12	Arena	2.43	2.24	Arena fina Muy mal selecc.
10	99.55	0.21	0.24	Arena	1.63	0.49	Arena media Bien seleccionada
11	32.62	49.91	17.47	Limo-arenoso	5.32	3.11	Limo medio Muy mal selecc.
12	69.80	20.31	8.89	Arena-limosa	3.30	2.98	Arena muy fina Muy mal selecc.
12b	3.99	46.87	50.04	Arcilla-limosa	8.07	2.58	arcilla Muy mal selecc.
13	4.70	72.54	22.76	Limo-arcilloso	6.81	2.21	Limo fino Muy mal selecc.
14	32.05	49.91	18.04	Limo-arenoso	5.37	3.12	Limo medio Muy mal selecc.
15	67.47	30.67	11.86	Arena-limosa	3.96	3.13	Arena muy fina Muy mal selecc.
16	1.72	74.12	24.16	Limo-arcilloso	7.01	2.05	Limo muy fino Muy mal selecc.
17	36.46	49.14	16.40	Limo-arenoso	6.10	3.08	Limo medio Muy mal selecc.
18	9.68	70.51	19.81	Limo-arcilloso	6.46	2.40	Limo fino Muy mal selecc.

ANEXO II (continuación)

Estac.	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	NOMENCLATURA Shepard (1954)	M. (°)	n. (°)	NOMENCLATURA Folk y Ward (1957)
19	4.36	73.70	21.94	Limo-arcilloso	6.79	2.17	Limo fino Muy mal selecc.
20	1.57	74.56	23.87	Limo-arcilloso	7.00	2.04	Limo fino Muy mal selecc.
21	0.00	69.33	30.67	Limo-arcilloso	7.38	2.08	Limo muy fino Muy mal selecc.
22	1.31	73.43	25.26	Limo-arcilloso	7.08	2.06	Limo muy fino Muy mal selecc.
23	13.04	70.29	16.67	Limo-arcilloso	6.16	2.45	Limo fino Muy mal selecc.
24	17.66	64.71	17.63	Limo-arenoso	6.00	2.67	Limo medio Muy mal selecc.
25	17.85	66.06	16.09	Limo-arenoso	5.92	2.62	Limo medio Muy mal selecc.
26	31.98	57.26	10.76	Limo-arenoso	5.05	2.78	Limo medio Muy mal selecc.
27	85.24	13.79	0.97	Arena	2.21	1.76	Arena fina Mal seleccionada
28	96.00	4.00	0.00	Arena	1.68	0.88	Arena media Moderad. selecc.
29	85.49	14.51	0.00	Arena	2.15	1.58	Arena fina Mal seleccionada
30	97.34	2.66	0.00	Arena	1.62	0.72	Arena media Moderad. selecc.
31	100.00	0.00	0.00	Arena	1.50	0.00	Arena media Muy bien selecc.
32	100.00	0.00	0.00	Arena	1.50	0.00	Arena media Muy bien selecc.
33	91.93	7.49	0.58	Arena	1.89	1.35	Arena media Mal seleccionada
34	91.75	8.21	0.04	Arena	1.87	1.25	Arena media Mal seleccionada
35	2.98	68.87	28.15	Limo-arcilloso	7.13	2.24	Limo muy fino Muy mal selecc.
36	100.00	0.00	0.00	Arena	1.50	0.00	Arena media Muy bien selecc.
37	100.00	0.00	0.00	Arena	1.50	0.00	Arena media Muy bien selecc.
38	100.00	0.00	0.00	Arena	1.50	0.00	Arena media Muy bien selecc.

ANEXO II (continuación)

Estac.	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	NOMENCLATURA Shepard (1954)	M _z (φ)	σ _z (φ)	NOMENCLATURA Folk y Ward (1957)
39	69.67	26.23	4.10	Arena-limosa	3.05	2.50	Arena muy fina Muy mal selecc.
40	93.37	6.09	1.54	Arena	1.87	1.46	Arena media Mal seleccionada
41	100.00	0.00	0.00	Arena	1.50	0.00	Arena media Muy bien selecc.
42	73.62	20.14	6.24	Arena-limosa	2.97	2.64	Arena fina Muy mal selecc.
43	33.61	53.07	13.32	Limo-arenoso	6.09	2.94	Limo medio Muy mal selecc.
44	94.78	3.90	1.32	Arena	1.79	1.33	Arena media Mal seleccionada
45	81.80	15.84	2.36	Arena	2.43	2.07	Arena fina Muy mal selecc.
46	25.06	59.96	14.98	Limo-arenoso	5.55	2.81	Limo medio Muy mal selecc.
47	86.97	10.47	2.56	Arena	2.20	1.92	Arena fina Mal seleccionada
48	95.02	3.62	1.36	Arena	1.79	1.32	Arena media Mal seleccionada
49	94.93	4.16	0.91	Arena	1.77	1.23	Arena media Mal seleccionada
50	84.19	13.85	1.96	Arena	2.30	1.94	Arena fina Mal seleccionada
51	97.40	2.07	0.53	Arena	1.64	0.91	Arena media Madarad. selecc.
52	0.00	66.41	33.59	Limo-arcilloso	7.51	2.13	Limo muy fino Muy mal selecc.
53	0.00	66.79	33.21	Limo-arcilloso	7.49	2.12	Limo muy fino Muy mal selecc.
54	0.00	68.33	31.67	Limo-arcilloso	7.43	2.09	Limo muy fino Muy mal selecc.
55	28.02	52.52	19.46	Limo-arenoso	6.61	3.08	Limo medio Muy mal selecc.
56	3.30	89.78	6.92	Limo	6.16	1.43	Limo fino Mal seleccionada
57	94.53	4.16	1.31	Arena	1.81	1.35	Arena media Mal seleccionada
58	51.66	40.98	7.36	Arena-limosa	4.01	2.82	Limo grueso Muy mal selecc.

ANEXO II (continuación)

Estac.	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	NOMENCLATURA Shepard (1954)	M _c (°)	σ _v (°)	NOMENCLATURA Folk y Ward (1957)
59	20.20	63.72	16.08	Limo-arenoso	5.81	2.70	Limo media Muy mal selecc.
60	100.00	0.00	0.00	Arena	1.50	0.00	Arena media Muy bien selecc.
61	64.10	29.70	6.20	Arena-limosa	3.40	2.73	Arena muy fina Muy mal selecc.
62	23.85	58.06	17.99	Limo-arenoso	5.73	2.90	Limo medio Muy mal selecc.
63	3.75	73.09	23.16	Limo-arcilloso	6.87	2.16	Limo fino Muy mal selecc.
64	39.82	48.58	11.60	Limo-arenoso	4.73	2.97	Limo grueso Muy mal selecc.
65	62.04	31.79	6.17	Arena-limosa	3.49	2.74	Arena muy fina Muy mal selecc.
66	96.35	3.15	0.50	Arena	1.69	1.01	Arena media Mal seleccionada
67	100.00	0.00	0.00	Arena	1.50	0.00	Arena media Muy bien selecc.
68	95.07	4.93	0.00	Arena	1.72	0.97	Arena media Moderad. selecc.
69	100.00	0.00	0.00	Arena	1.50	0.00	Arena media Muy bien selecc.
70	4.71	74.69	20.60	Limo	6.72	2.15	Limo fino Muy mal selecc.
71	2.83	77.11	20.06	Limo	6.78	2.01	Limo fino Muy mal selecc.
72	3.08	89.25	7.67	Limo	6.21	1.46	Limo fina Mal seleccionado
73	5.11	81.69	13.20	Limo	6.36	1.89	Limo fino Mal seleccionado
74	64.66	30.96	4.48	Arena-limosa	3.30	2.58	Arena muy fina Muy mal selecc.
75	96.86	3.14	0.00	Arena	1.64	0.78	Arena media Moderad. selecc.
76	0.00	75.57	24.43	Limo	7.10	1.93	Limo muy fino Mal seleccionado

ANEXO III

Concentración de metales pesados totales en los sedimentos del sistema lagunar Altata - Ensenada del Pabellón.

Estación	Ag (ppm)	Al (%)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Li (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)
1	5.4	6.7	0.1	21.7	17.9	36.0	3.6	20.7	4654	20.7	101.6	26.5	73.4
2	3.8	5.7	0.0	20.5	19.0	28.3	3.6	15.0	8166	12.9	79.6	29.5	54.9
3	3.3	3.6	ND	17.5	14.6	23.0	3.6	12.9	3586	11.6	45.8	30.1	61.7
4	4.9	9.9	0.3	22.7	21.4	46.8	8.0	32.3	2719	23.8	140.9	31.4	134.0
5	5.1	9.5	ND	23.4	18.8	45.9	8.3	32.9	1159	24.7	156.9	38.4	131.0
6	5.1	6.5	0.1	22.5	19.9	33.8	5.3	21.4	1001	17.9	122.4	28.8	87.5
7	4.1	3.4	ND	15.9	15.7	24.2	7.3	17.2	764	8.4	114.2	38.1	84.6
8	4.5	6.6	0.2	20.1	19.4	31.3	8.2	23.3	829	18.7	134.7	28.4	91.8
9	3.2	3.8	ND	17.1	13.4	17.4	4.3	11.3	495	1.3	79.6	19.9	53.4
10	2.8	3.5	ND	10.1	10.9	10.8	2.7	8.2	302	3.9	63.3	22.4	40.6
11	3.7	6.7	0.0	23.5	14.5	49.4	4.8	21.9	658	16.7	89.6	36.7	85.8
12	2.8	3.7	ND	15.7	12.5	39.2	3.4	10.0	517	6.6	59.7	30.4	32.0
12b	4.6	8.5	0.5	23.8	16.8	54.4	6.6	35.6	950	26.1	97.9	35.5	112.8
13	4.3	7.9	ND	22.1	18.9	63.9	5.6	28.7	598	24.4	118.1	26.2	131.9
14	4.4	5.7	0.1	20.7	17.4	39.7	6.9	23.0	498	21.0	100.4	34.7	93.2
15	4.0	6.0	ND	20.4	16.8	33.1	13.5	20.0	586	15.0	100.5	46.3	64.9
16	4.4	4.9	ND	15.8	19.6	40.0	5.1	32.7	1029	22.9	114.1	42.2	97.5
17	4.4	3.3	ND	16.8	13.4	27.2	3.6	21.4	640	14.2	150.5	25.5	71.3
18	4.2	4.4	ND	18.8	14.6	40.8	7.9	30.4	690	22.9	149.5	44.6	100.7
19	4.9	4.5	ND	19.6	15.0	39.7	8.5	28.9	748	21.6	152.5	42.2	89.9
20	5.7	5.1	ND	21.1	21.4	51.2	8.9	35.2	725	30.2	165.9	50.4	90.8
21	4.7	5.2	ND	19.6	15.6	41.4	8.9	33.9	739	26.1	176.4	46.5	78.7
22	4.1	7.9	ND	16.7	17.0	43.2	7.2	32.3	1790	21.1	154.2	39.9	132.4
23	4.4	7.1	ND	18.7	16.8	39.6	7.8	27.8	2069	16.0	149.8	41.2	118.6
24	4.8	6.8	ND	20.6	16.8	44.6	7.8	26.4	2099	17.9	163.3	41.6	120.2
25	4.2	8.2	ND	16.2	15.7	35.4	9.4	24.2	2050	21.6	143.2	44.8	121.7
26	4.1	5.9	ND	13.2	14.2	26.8	7.0	17.8	2008	12.7	124.9	35.1	87.0
27	3.9	2.1	ND	12.0	10.0	12.5	2.4	7.9	975	7.3	85.8	21.6	38.4
28	2.7	2.5	0.9	13.8	11.6	11.7	4.0	10.0	383	6.1	73.0	17.0	18.8
29	2.8	3.1	ND	29.7	15.1	15.4	4.5	13.3	462	6.8	73.9	35.1	65.4

ANEXO III (continuación)

Estación	Ag (ppm)	Al (%)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Li (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)
30	1.7	3.2	ND	21.9	10.0	6.9	3.0	7.0	303	2.0	69.6	29.3	28.3
31	2.9	3.8	ND	21.0	11.3	5.9	2.0	7.3	291	0.7	61.5	22.1	24.6
32	3.7	1.2	ND	11.4	8.9	5.6	2.2	6.7	290	4.4	59.3	18.9	43.9
33	2.6	2.6	ND	24.6	13.2	14.5	3.6	11.3	440	8.6	66.9	34.2	56.0
34	1.8	1.4	ND	25.1	11.4	11.8	3.6	11.5	355	5.9	72.0	39.3	57.2
35	5.2	7.2	1.2	20.7	20.8	47.5	5.6	31.6	288	30.5	121.0	31.7	119.9
36	4.2	1.5	ND	10.4	10.9	7.7	2.8	9.0	1115	8.1	51.2	25.9	25.8
37	2.7	1.8	ND	10.4	10.6	8.1	2.9	9.4	318	9.3	51.4	22.0	26.8
38	3.0	1.8	ND	14.2	11.2	7.7	3.6	9.5	97	8.3	59.2	16.8	19.9
39	3.5	4.6	0.2	23.7	16.5	21.5	9.2	16.0	658	11.6	61.3	33.3	44.9
40	3.0	3.6	ND	14.9	17.1	16.0	6.2	13.4	493	5.6	88.9	42.5	55.9
41	3.8	2.6	ND	12.0	14.5	18.9	3.7	12.6	309	8.1	59.4	36.7	45.7
42	3.2	2.7	0.2	13.6	18.7	25.1	6.8	17.2	434	16.7	76.0	33.4	139.6
43	3.9	3.7	ND	17.8	15.7	40.4	7.0	21.5	555	20.8	102.9	40.8	176.1
44	2.9	1.7	ND	10.6	13.3	13.5	5.0	12.3	484	9.9	87.8	36.1	104.0
45	2.8	2.3	ND	16.2	11.9	26.1	2.3	12.8	790	14.7	81.5	34.7	109.7
46	3.5	6.8	ND	20.4	19.9	45.6	4.1	25.4	2548	12.9	124.0	52.2	116.0
47	4.1	3.5	ND	13.6	18.0	23.4	3.9	10.2	510	4.3	65.7	53.5	73.4
48	2.7	2.3	ND	8.2	11.9	10.4	4.6	7.8	293	ND	57.7	30.8	36.4
49	2.8	3.3	ND	8.7	14.1	14.0	4.3	8.4	420	ND	54.6	34.9	49.7
50	6.0	2.3	0.5	15.9	17.3	19.1	4.3	7.6	433	1.4	123.3	34.4	42.1
51	2.0	2.0	ND	8.5	10.1	11.3	3.6	8.8	210	ND	63.4	17.3	40.9
52	5.1	7.7	0.2	19.9	21.1	51.4	7.6	28.3	869	17.7	121.9	38.6	131.0
53	3.4	6.4	0.3	17.5	16.3	53.1	4.5	34.4	889	22.6	147.9	40.1	156.7
54	5.5	6.4	0.9	17.2	21.0	49.5	4.5	34.1	1018	19.8	166.2	40.9	147.8
55	4.3	4.5	ND	12.8	13.8	36.7	5.6	24.6	492	13.5	147.9	33.2	109.0
56	4.3	3.8	0.6	9.7	13.9	27.1	3.6	20.0	762	13.3	106.4	31.2	70.3
57	4.6	2.3	0.8	10.2	10.0	14.4	3.1	6.2	440	15.4	110.0	44.9	27.6
58	3.1	3.4	ND	9.5	13.2	26.7	4.5	21.1	286	19.5	102.1	36.3	84.5
59	4.9	5.3	0.4	12.6	15.3	35.9	9.0	24.2	650	22.8	153.5	47.5	112.5
60	2.3	2.6	ND	12.4	13.4	9.4	4.3	8.1	289	1.7	62.4	27.0	45.5
61	5.4	4.3	ND	17.9	14.3	27.0	2.4	11.2	725	19.0	131.8	25.2	57.5

ANEXO III (continuación)

Estación	Ag (ppm)	Al (%)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Li (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)
62	3.4	6.1	ND	24.9	17.9	38.5	5.0	26.6	653	20.3	179.3	41.5	101.3
63	2.8	8.3	ND	22.9	20.6	50.5	6.7	37.8	889	24.4	201.7	52.0	102.9
64	2.9	4.8	ND	18.1	15.2	28.4	5.2	18.4	673	10.8	143.9	31.0	64.0
65	5.0	4.2	ND	18.8	19.0	31.6	7.3	15.5	577	20.1	199.8	46.2	47.4
66	2.1	2.3	ND	14.6	9.4	12.5	4.0	10.8	561	4.2	139.9	16.8	30.4
67	2.1	3.9	0.2	9.3	14.8	10.2	3.7	7.3	366	4.0	128.7	10.0	26.7
68	1.6	2.6	0.2	10.9	15.1	13.9	4.6	8.5	472	8.9	144.0	20.6	36.6
69	1.7	1.3	ND	10.0	13.3	9.3	4.6	6.0	542	5.8	152.5	21.2	38.0
70	4.3	4.6	ND	23.6	28.0	53.2	5.4	26.4	761	19.7	229.5	32.2	97.3
71	4.2	5.1	0.3	22.0	23.2	45.3	9.6	33.5	778	24.3	268.6	43.9	125.0
72	4.8	7.2	ND	20.3	21.7	42.7	7.2	28.0	994	24.2	283.4	49.7	140.5
73	5.0	6.6	0.7	22.3	15.4	44.7	6.6	31.6	792	25.1	293.7	50.0	160.9
74	7.0	3.6	1.3	18.8	17.1	25.9	3.5	11.6	463	16.6	281.8	36.8	69.3
75	3.1	2.2	ND	14.3	10.9	12.2	5.0	9.8	344	4.7	88.4	26.5	61.8
76	5.7	6.4	1.2	37.1	26.5	57.4	7.2	31.0	438	28.0	189.0	66.4	149.1
Media	3.8	4.6	0.5	17.4	15.7	29.3	5.4	19.1	925	14.7	121.0	34.6	80.5
Desv. est.	1.1	2.1	0.4	5.4	3.9	15.5	2.2	9.6	1127	8.0	56.7	10.4	40.0

Estaciones de referencia

Estación	Ag (ppm)	Al (%)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (%)	Li (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)
Humaya	0.8	1.9	0.8	16.5	19.2	17.0	3.7	11.0	652	12.7	15.6	58.1	69.6
Sanalona	0.5	1.0	ND	3.7	7.7	5.4	1.1	6.7	192	4.5	8.4	6.1	29.6
Media	0.6	1.4	0.4	10.1	13.5	11.2	2.4	8.8	422	8.6	12.0	32.1	49.6

ANEXO IV

Concentraciones de metales pesados biodisponibles en los sedimentos del sistema lagunar
Altata - Ensenada del Pabellón.

Est.	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
1	0.7	4.5	3.4	1.8	42	1947	6.7	23.3	2.2
2	0.4	3.9	2.1	1.2	53	5317	4.7	14.0	3.4
3	0.1	1.6	1.1	0.0	77	1685	2.2	1.6	2.0
4	0.1	1.7	1.4	0.6	403	1357	1.4	34.0	5.1
5	0.0	1.6	1.7	ND	614	424	1.3	23.3	6.1
6	0.6	4.7	3.6	1.2	397	342	5.5	37.0	3.9
7	0.3	2.5	2.0	0.9	655	263	2.9	26.9	3.5
8	0.3	2.4	1.7	0.5	541	241	2.5	27.8	4.0
9	0.1	1.8	1.2	0.4	428	191	1.7	17.9	2.8
10	ND	0.8	0.8	ND	315	20	0.5	0.8	2.0
11	0.3	3.4	2.9	0.8	117	184	3.4	17.4	4.9
12	0.0	1.9	4.4	ND	106	178	1.3	6.7	6.9
12b	0.1	1.8	1.9	0.6	117	270	1.2	24.9	3.7
13	0.1	1.6	3.6	0.2	367	105	0.8	29.5	10.5
14	0.3	1.9	2.1	0.1	764	107	0.8	25.2	6.8
15	0.0	2.0	1.8	0.0	539	155	1.2	14.8	6.3
16	0.3	2.0	1.8	1.5	98	269	3.0	31.0	1.6
17	0.4	3.2	2.6	1.5	559	242	3.2	51.2	3.4
18	0.1	1.5	1.8	0.4	776	224	1.4	49.7	4.7
19	0.1	1.3	1.3	0.4	794	280	1.8	46.0	5.1
20	0.1	1.1	1.2	0.3	444	285	1.4	44.2	4.0
21	0.3	0.6	2.0	0.5	429	345	1.5	45.8	4.5
22	0.0	0.3	2.0	0.1	402	297	1.7	40.9	4.3
23	0.7	2.2	2.2	0.0	312	221	2.3	31.3	3.6
24	0.4	2.1	2.2	0.5	453	301	2.1	33.9	4.3
25	0.4	2.2	1.7	0.8	519	221	1.9	33.3	4.5
26	0.3	1.7	2.0	0.6	328	287	1.8	17.5	3.5
27	1.1	4.1	2.2	2.0	235	72	4.7	25.5	2.0
28	0.5	3.0	1.3	0.8	307	60	3.3	21.3	1.9
29	0.1	1.5	0.9	0.1	422	66	1.6	14.7	2.4
30	0.4	0.9	1.2	0.4	368	22	1.9	7.2	2.0
31	0.2	0.6	0.8	0.3	207	61	1.9	7.5	1.8
32	0.5	2.0	0.8	0.9	209	48	3.0	11.4	1.6
33	0.1	1.2	0.8	0.3	480	66	1.3	7.8	1.9
34	0.3	1.6	0.6	ND	218	45	2.1	21.0	1.7
35	2.1	2.7	1.3	0.6	220	158	2.6	31.6	5.3
36	0.1	1.3	0.5	ND	240	64	1.1	9.5	2.2
37	0.5	1.4	1.1	0.0	392	257	2.5	12.1	2.8

ANEXO IV (Continuación)

Est.	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
38	0.3	1.2	0.8	0.3	525	41	2.1	16.2	2.2
39	0.4	1.7	1.2	ND	1217	175	1.7	14.5	5.0
40	0.8	3.5	1.7	1.1	827	78	4.2	21.9	3.7
41	0.3	1.8	1.5	0.1	242	31	1.6	10.4	6.2
42	0.0	1.7	1.2	0.2	915	105	1.8	5.9	5.6
43	0.7	1.4	1.7	0.8	1392	104	2.2	12.6	11.2
44	ND	0.5	0.2	ND	738	159	0.2	8.5	4.9
45	0.0	0.9	1.3	ND	1123	441	0.0	20.5	7.6
46	0.2	1.5	1.9	ND	1101	1385	0.1	29.8	11.6
47	ND	0.6	1.3	0.4	1188	54	0.9	25.0	8.4
48	0.1	1.8	1.3	0.8	474	35	1.4	10.9	2.8
49	0.0	0.2	0.9	0.1	794	108	ND	16.2	4.3
50	1.1	6.1	4.5	3.9	514	105	7.2	48.3	4.5
51	ND	0.1	0.7	ND	486	81	ND	9.7	2.4
52	0.4	1.5	1.5	0.7	907	183	1.5	26.7	11.2
53	0.2	1.3	2.6	0.3	1251	294	1.2	30.0	7.7
54	0.2	1.2	2.8	0.4	1294	412	1.3	34.1	7.3
55	0.3	1.5	2.4	0.9	590	91	2.8	31.4	5.6
56	0.3	1.7	2.2	1.3	97	262	4.2	63.2	3.7
57	1.0	4.9	3.8	3.1	220	51	8.1	52.3	2.4
58	0.2	1.8	1.7	1.4	438	39	2.3	62.0	4.7
59	0.2	1.7	2.5	1.0	1038	184	2.4	72.4	6.6
60	0.1	0.5	0.2	0.9	584	21	1.4	14.2	1.5
61	1.6	9.2	5.3	4.9	25	326	12.4	65.0	2.4
62	0.4	2.1	2.0	1.3	87	88	4.0	41.8	2.6
63	0.3	1.1	1.6	0.9	171	221	2.2	38.1	2.9
64	0.3	2.3	2.1	1.7	153	105	2.9	52.0	2.2
65	0.2	1.2	0.8	0.3	374	77	1.9	28.9	5.4
66	0.2	1.1	0.6	0.5	439	230	1.7	18.4	2.7
67	0.2	1.6	0.4	0.6	386	138	2.2	21.2	1.9
68	0.2	1.5	1.0	0.9	297	168	2.4	30.4	2.5
69	0.1	1.1	0.4	0.3	518	188	1.5	5.5	2.5
70	0.5	3.5	3.0	1.1	182	208	3.8	40.8	10.2
71	0.1	1.8	1.8	1.1	303	219	1.7	19.2	4.3
72	0.3	1.4	1.8	0.6	155	210	1.9	30.1	4.3
73	0.3	1.8	1.1	0.9	136	213	2.6	25.2	3.9
74	1.3	8.2	4.1	4.1	97	204	11.2	68.0	5.3
75	0.2	1.5	0.4	0.0	457	30	2.7	23.4	3.8
76	0.9	5.4	0.5	1.3	1258	69	4.0	32.1	23.6
Media	0.4	2.1	1.7	0.9	478	309	2.6	27.2	4.6
Desv. est.	0.4	1.6	1.0	0.9	342	870	2.1	16.3	3.3

ANEXO V

Porcentaje de biodisponibilidad con respecto al contenido total de los metales pesados en los sedimentos del sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

Est.	Cd (%)	Co (%)	Cr (%)	Cu (%)	Fe (%)	Mn (%)	Ni (%)	Pb (%)	Zn (%)
1	-----	20.7	10.4	9.6	0.1	41.8	32.4	22.9	3.0
2	-----	18.9	6.5	7.5	0.1	65.1	36.1	17.6	6.2
3	-----	9.0	0.3	4.9	0.2	47.0	19.0	3.6	3.2
4	48.1	7.4	2.9	3.1	0.5	49.9	6.1	24.1	3.8
5	-----	6.8	-----	3.8	0.7	36.6	5.3	14.8	4.7
6	-----	21.0	6.0	10.6	0.8	34.1	31.4	30.3	4.4
7	-----	15.6	5.6	8.1	0.6	34.4	34.1	23.5	4.2
8	-----	11.9	2.6	5.3	0.7	29.1	13.2	20.6	4.4
9	-----	10.5	3.1	7.1	1.0	38.6	-----	22.5	5.2
10	-----	8.2	-----	7.3	1.2	6.7	16.0	1.2	4.8
11	-----	14.6	5.6	6.0	0.2	27.9	20.6	19.4	6.7
12	-----	12.3	-----	11.2	0.3	34.3	19.8	11.2	21.7
12b	26.5	7.5	3.7	3.5	0.2	28.4	4.8	25.4	3.3
13	-----	7.4	1.2	5.7	0.7	17.6	3.4	25.0	7.9
14	-----	9.2	0.6	5.3	1.1	21.4	3.7	25.1	7.3
15	-----	9.7	0.3	5.5	0.4	26.5	8.3	14.7	8.1
16	-----	12.6	7.7	4.4	0.2	26.1	13.2	27.2	1.6
17	-----	19.1	10.9	9.4	1.6	37.9	22.6	34.0	4.8
18	-----	7.9	2.7	4.3	1.0	32.4	6.0	33.2	4.6
19	-----	6.4	2.6	3.2	0.9	37.4	8.3	30.1	6.7
20	-----	5.5	1.3	2.3	0.5	39.3	4.8	26.6	4.4
21	-----	3.2	3.2	5.0	0.5	46.7	5.8	26.0	5.7
22	-----	1.7	0.6	4.5	0.6	16.6	8.2	26.5	3.3
23	-----	11.7	0.2	5.5	0.4	10.7	14.1	20.9	3.0
24	-----	10.3	3.0	4.9	0.6	14.4	11.9	20.7	3.6
25	-----	13.5	4.9	4.8	0.6	10.8	8.9	23.2	3.7
26	-----	13.1	4.1	7.5	0.5	14.3	14.1	14.0	4.0
27	-----	34.2	19.9	17.8	1.0	7.4	64.6	29.7	5.1
28	57.5	21.9	7.4	10.8	0.8	15.6	53.6	29.2	10.1
29	-----	4.9	0.7	5.6	0.9	14.2	23.9	19.9	3.6
30	-----	4.1	3.9	17.5	1.2	7.2	91.2	10.4	7.0
31	-----	2.6	2.4	12.9	1.0	21.1	-----	12.1	7.5
32	-----	17.5	10.4	13.5	1.0	16.5	67.2	19.2	4.1
33	-----	4.7	2.4	5.7	1.3	15.5	15.2	11.6	3.4
34	-----	6.4	-----	5.1	0.6	12.8	35.0	29.2	2.9
35	-----	13.0	3.0	2.8	0.4	54.8	8.6	26.1	4.4
36	-----	12.1	-----	6.6	0.9	5.7	13.7	18.5	8.6
37	-----	13.3	0.4	13.8	1.3	80.9	26.4	23.6	10.4
38	-----	8.3	2.8	10.3	1.5	42.4	26.8	27.4	11.2
39	-----	7.0	-----	5.7	1.3	26.6	14.8	23.7	12.4
40	-----	23.4	6.5	10.4	1.3	15.9	76.1	24.6	6.7

ANEXO V (Continuación)

Est.	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
41	.....	14.7	0.9	8.2	0.6	10.0	19.5	17.6	13.6
42	31.3	12.3	1.1	4.7	1.3	24.1	10.7	7.7	4.0
43	.....	8.1	5.2	4.1	2.0	18.8	10.6	12.2	6.4
44	.....	4.4	.....	1.8	1.5	32.9	2.2	9.7	4.8
45	.....	5.5	.....	4.9	4.8	55.9	0.1	25.1	7.0
46	.....	7.2	.....	4.1	2.7	54.4	0.6	24.1	10.0
47	.....	4.8	2.0	5.4	3.0	10.6	20.8	38.1	11.4
48	.....	21.8	6.9	12.2	1.0	12.0	.....	18.9	7.7
49	.....	2.9	0.9	6.5	1.8	25.8	.....	29.6	8.6
50	.....	38.7	22.4	23.3	1.2	24.3	.....	39.2	10.8
51	.....	1.5	.....	6.2	1.3	38.8	.....	15.3	5.9
52	.....	7.7	3.2	3.0	1.2	21.0	8.6	21.9	8.6
53	71.0	7.5	1.8	5.0	2.8	33.1	5.5	20.3	4.9
54	17.4	6.8	1.9	5.6	2.9	40.4	7.0	20.5	4.9
55	.....	11.7	6.2	6.6	1.1	18.4	20.9	21.2	5.1
56	53.1	17.1	9.6	8.3	0.3	33.1	31.5	69.4	5.2
57	.....	48.0	31.0	26.0	0.7	11.6	52.9	47.5	8.7
58	.....	18.8	10.9	6.3	1.0	13.5	11.6	60.7	5.6
59	42.1	13.1	6.4	6.8	1.2	28.3	10.8	47.2	5.8
60	.....	4.4	6.8	1.8	1.4	7.1	80.6	22.7	3.2
61	.....	51.3	34.1	19.8	0.1	44.9	65.6	49.3	4.2
62	.....	8.4	7.2	5.3	0.2	13.6	19.9	23.3	2.6
63	.....	4.9	4.4	3.1	0.3	24.9	9.0	18.9	2.8
64	.....	12.7	11.2	7.4	0.3	15.6	26.6	36.2	3.4
65	.....	6.4	1.6	2.5	0.5	13.3	9.3	14.5	11.4
66	.....	7.5	6.2	4.5	1.1	41.0	41.0	13.2	9.0
67	85.7	17.6	5.1	4.3	1.1	37.7	54.9	15.4	7.2
68	.....	13.6	5.8	7.3	0.6	35.5	27.0	21.1	7.0
69	.....	10.7	2.5	3.8	1.1	34.4	26.3	3.6	6.7
70	.....	14.9	3.8	5.6	0.3	27.3	19.5	17.8	10.6
71	41.2	7.3	4.9	3.9	0.3	28.1	6.8	7.1	3.5
72	.....	7.0	2.8	4.2	0.2	21.1	7.7	10.6	3.0
73	38.8	6.1	5.6	2.6	0.2	26.8	10.4	8.6	2.4
74	.....	43.6	23.9	15.9	0.3	44.0	67.1	24.1	7.6
75	.....	10.4	0.3	3.3	0.9	10.6	57.4	26.5	6.1
76	71.7	14.5	4.9	0.9	1.7	16.8	14.2	17.0	15.9
Media	48.7	12.5	5.8	7.1	1.0	27.4	23.2	22.8	6.3
Máxima	85.7	51.3	34.1	26.0	4.8	80.9	91.2	60.7	21.7
Mínima	17.4	1.5	0.2	0.9	0.1	5.7	0.1	1.2	1.6

ANEXO VI

Factor de enriquecimiento de metales pesados en los sedimentos del sistema lagunar de
Atata-Ensenada del Pabellón, empleando Aluminio como elemento conservativo.

Est.	Ag	Cd	Cu	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	V	Zn
1	1.6	0.0	0.5	0.3	0.7	0.3	0.6	2.3	0.6	1.6	0.2	0.3
2	1.5	0.0	0.5	0.4	0.6	0.4	0.4	4.9	0.4	1.7	0.2	0.3
3	2.0	.....	0.7	0.4	0.8	0.6	0.6	3.3	0.5	1.5	0.4	0.5
4	1.1	0.1	0.3	0.2	0.6	0.5	0.5	0.9	0.4	1.7	0.1	0.4
5	1.2	.....	0.3	0.7	0.6	0.5	0.6	0.4	0.4	2.0	0.2	0.4
6	1.7	0.1	0.5	0.3	0.7	0.5	0.6	0.5	0.5	2.2	0.2	0.4
7	2.6	.....	0.7	0.5	0.9	1.3	0.8	0.8	0.4	4.0	0.5	0.7
8	1.5	0.1	0.4	0.3	0.6	0.7	0.6	0.4	0.5	2.4	0.2	0.4
9	1.9	.....	0.6	0.4	0.6	0.7	0.5	0.4	0.1	2.5	0.2	0.4
10	1.8	.....	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.3	0.2	2.2	0.3	0.3
11	1.2	0.0	0.5	0.2	0.9	0.4	0.5	0.3	0.4	1.6	0.2	0.4
12	1.7	.....	0.6	0.4	1.3	0.6	0.4	0.6	0.3	1.9	0.4	0.2
12b	1.2	0.2	0.4	0.2	0.8	0.5	0.7	0.4	0.5	1.4	0.2	0.4
13	1.2	.....	0.4	0.3	1.0	0.4	0.6	0.3	0.5	1.8	0.1	0.5
14	1.7	0.1	0.5	0.3	0.9	0.7	0.7	0.3	0.6	2.1	0.3	0.5
15	1.5	.....	0.5	0.3	0.7	1.3	0.5	0.3	0.4	2.0	0.3	0.3
16	2.0	.....	0.5	0.4	1.0	0.6	1.1	0.7	0.8	2.8	0.4	0.6
17	2.9	.....	0.7	0.4	1.1	0.6	1.0	0.7	0.7	5.4	0.3	0.6
18	2.1	.....	0.6	0.4	1.2	1.1	1.1	0.5	0.9	4.0	0.5	0.7
19	2.4	.....	0.6	0.4	1.1	1.1	1.0	0.6	0.6	4.1	0.4	0.6
20	2.5	.....	0.6	0.4	1.3	1.0	1.1	0.5	1.0	3.9	0.4	0.5
21	2.0	.....	0.6	0.3	1.0	1.0	1.1	0.5	0.8	4.0	0.4	0.4
22	1.1	.....	0.3	0.2	0.7	0.5	0.7	0.8	0.4	2.3	0.2	0.5
23	1.4	.....	0.4	0.3	0.7	0.7	0.6	1.0	0.4	2.5	0.3	0.5
24	1.6	.....	0.4	0.3	0.8	0.7	0.6	1.1	0.4	2.9	0.3	0.5
25	1.1	.....	0.3	0.2	0.6	0.7	0.5	0.8	0.4	2.1	0.2	0.4
26	1.5	.....	0.3	0.3	0.6	0.7	0.5	1.2	0.4	2.5	0.3	0.4
27	4.1	.....	0.8	0.5	0.8	0.7	0.6	1.6	0.6	4.9	0.5	0.5
28	2.4	1.3	0.8	0.5	0.6	0.9	0.6	0.5	0.4	3.4	0.3	0.2
29	2.0	.....	1.4	0.5	0.6	0.9	0.7	0.5	0.4	2.9	0.5	0.6
30	1.2	.....	1.0	0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.1	2.5	0.4	0.3
31	1.7	.....	0.8	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.0	1.9	0.3	0.2
32	6.8	.....	1.3	0.8	0.6	1.1	0.9	0.8	0.6	5.8	0.7	1.0
33	2.2	.....	1.3	0.5	0.7	0.8	0.7	0.6	0.6	3.1	0.6	0.6
34	2.9	.....	2.6	0.9	1.1	1.5	1.4	0.9	0.7	6.3	1.3	1.2
35	1.6	0.6	0.4	0.3	0.8	0.5	0.7	0.1	0.7	2.0	0.2	0.5
36	6.1	.....	1.0	0.8	0.6	1.1	1.0	2.5	0.9	4.0	0.8	0.5
37	3.4	.....	0.8	0.6	0.8	1.0	0.8	0.5	0.9	3.4	0.5	0.4
38	3.6	.....	1.1	0.6	0.5	1.2	0.8	0.2	0.8	3.8	0.4	0.3
39	1.7	0.1	0.7	0.4	0.6	1.2	0.8	0.5	0.4	1.6	0.3	0.3
40	1.9	.....	0.6	0.5	0.6	1.0	0.6	0.5	0.3	2.9	0.5	0.4
41	3.3	.....	0.7	0.6	0.9	0.9	0.8	0.4	0.5	2.7	0.6	0.6
42	2.7	0.2	0.7	0.7	1.2	1.5	1.0	0.6	1.0	3.3	0.6	1.5
43	2.4	.....	0.7	0.5	1.4	1.1	0.9	0.5	0.9	3.3	0.5	1.4
44	3.9	.....	0.9	0.8	1.0	1.6	1.2	1.0	1.0	6.2	1.0	1.8

ANEXO VI (continuación)

Estación	Ag	Cd	Co	Cr	Cu	Pb	Li	Mn	Ni	Pb	V	Zn
45	2.6	.....	1.0	0.6	1.4	0.6	0.9	1.2	1.1	4.2	0.7	1.4
46	1.2	.....	0.4	0.3	0.9	0.1	0.6	1.3	0.3	2.2	0.3	0.6
47	2.6	.....	0.6	0.6	0.8	0.7	0.6	0.6	0.2	2.2	0.7	0.6
48	2.6	.....	0.6	0.6	0.6	1.2	0.6	0.4	.....	3.0	0.6	0.6
49	1.9	.....	0.4	0.6	0.6	0.8	0.4	0.4	.....	2.0	0.6	0.4
50	5.9	0.9	1.0	0.8	1.1	1.1	0.5	0.7	0.1	6.5	0.7	0.5
51	2.1	.....	0.6	0.6	0.7	1.1	0.7	0.4	.....	3.7	0.4	0.6
52	1.5	0.1	0.4	0.3	0.9	0.6	0.6	0.4	.....	1.9	0.2	0.6
53	1.2	0.2	0.4	0.3	1.1	0.4	0.9	0.5	0.6	2.8	0.3	0.7
54	1.9	0.6	0.4	0.4	1.0	0.4	0.9	0.5	0.6	3.1	0.3	0.7
55	2.1	.....	0.4	0.3	1.0	0.7	0.9	0.4	0.5	3.9	0.3	0.7
56	2.6	0.6	0.4	0.4	0.9	0.6	0.8	0.7	0.6	3.3	0.4	0.6
57	4.4	1.3	0.6	0.5	0.8	0.8	0.4	0.6	1.1	5.7	0.9	0.3
58	2.0	.....	0.4	0.4	1.0	0.8	1.0	0.3	1.0	3.6	0.6	0.7
59	2.6	0.3	0.3	0.3	0.9	1.0	0.7	0.4	0.7	3.4	0.4	0.6
60	2.0	.....	0.7	0.6	0.6	1.0	0.6	0.4	0.1	2.8	0.6	0.5
61	2.8	.....	0.8	0.4	0.8	0.3	0.4	0.6	0.7	3.6	0.3	0.4
62	1.2	.....	0.6	0.3	0.8	0.6	0.7	0.4	0.6	3.5	0.3	0.5
63	0.7	.....	0.4	0.3	0.8	0.6	0.7	0.4	0.5	2.9	0.3	0.4
64	1.3	.....	0.6	0.3	0.8	0.6	0.6	0.5	0.4	3.6	0.3	0.4
65	2.6	.....	0.6	0.6	1.0	1.0	0.6	0.6	0.8	5.6	0.6	0.3
66	2.0	.....	0.9	0.4	0.7	1.0	0.8	0.8	0.3	7.2	0.3	0.4
67	1.2	0.2	0.3	0.4	0.3	0.6	0.3	0.3	0.2	3.9	0.1	0.2
68	1.3	0.2	0.6	0.6	0.7	1.0	0.6	0.6	0.6	6.6	0.3	0.4
69	3.0	.....	1.1	1.1	0.9	2.2	0.8	1.4	0.8	14.1	0.7	0.9
70	2.0	.....	0.7	0.6	1.5	0.7	0.9	0.6	0.7	5.9	0.3	0.6
71	1.8	0.3	0.6	0.5	1.1	1.1	1.1	0.6	0.8	6.2	0.4	0.7
72	1.5	.....	0.4	0.3	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	4.7	0.3	0.6
73	1.7	0.4	0.6	0.2	0.9	0.6	0.6	0.4	0.6	5.3	0.3	0.7
74	4.3	1.4	0.7	0.5	0.8	0.6	0.5	0.4	0.8	9.2	0.5	0.6
75	3.1	.....	0.9	0.6	0.7	1.4	0.7	0.5	0.4	4.7	0.6	0.8
76	2.0	0.7	0.8	0.4	1.2	0.7	0.6	0.2	0.7	3.6	0.6	0.7
Media	2.2	0.4	0.6	0.4	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	3.6	0.4	0.6
Máximo	6.8	1.4	2.8	1.1	1.6	2.2	1.4	4.9	1.1	14.1	1.3	1.8
Mínimo	0.7	0.0	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.0	1.4	0.1	0.2

ANEXO VII

Factor de enriquecimiento de metales pesados en los sedimentos del sistema lagunar de
Aitata Ensenada del Pabellón, empleando Luo como elemento conservativo

Estación	Ag	Al	Cd	Cu	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
1	3.7	2.0	0.1	0.9	0.6	1.4	0.6	4.7	1.0	3.6	0.4	0.6
2	3.6	2.4	0.0	1.2	0.8	1.5	0.9	11.4	0.9	3.9	0.5	0.7
3	3.6	1.8	.....	1.2	0.7	1.4	1.0	5.9	0.9	2.6	0.6	0.9
4	2.2	1.9	0.2	0.6	0.4	1.1	0.9	1.8	0.8	3.2	0.3	0.7
5	2.2	1.8	.....	0.6	0.4	1.1	0.9	0.7	0.8	3.5	0.3	0.7
6	3.4	1.9	0.1	0.9	0.6	1.3	0.9	1.0	0.9	4.2	0.4	0.7
7	3.4	1.2	.....	0.8	0.6	1.1	1.6	0.9	0.5	4.9	0.6	0.9
8	2.6	1.6	0.2	0.8	0.5	1.1	1.3	0.7	0.8	4.3	0.3	0.7
9	4.0	2.1	.....	1.3	0.8	1.2	1.4	0.9	0.1	5.2	0.5	0.8
10	4.6	2.6	.....	1.1	0.9	1.0	1.2	0.8	0.5	5.6	0.7	0.9
11	2.4	1.9	0.0	0.9	0.4	1.8	0.6	0.6	0.8	3.0	0.5	0.7
12	4.0	2.3	.....	1.4	0.8	3.1	1.3	1.1	0.7	4.4	0.8	0.6
12b	1.8	1.5	0.3	0.6	0.3	1.2	0.7	0.6	0.8	2.0	0.3	0.6
13	2.1	1.7	.....	0.7	0.4	1.8	0.7	0.4	0.9	3.0	0.3	0.6
14	2.7	1.6	0.1	0.8	0.5	1.4	1.1	0.5	0.9	3.2	0.4	0.7
16	2.9	1.9	.....	0.9	0.5	1.3	2.6	0.6	0.8	3.7	0.6	0.6
16	1.9	0.9	.....	0.4	0.4	1.0	0.6	0.7	0.7	2.6	0.4	0.5
17	2.9	1.0	.....	0.7	0.4	1.0	0.6	0.6	0.7	5.2	0.3	0.6
18	2.0	0.9	.....	0.5	0.3	1.1	1.0	0.5	0.8	3.6	0.4	0.6
19	2.4	1.0	.....	0.6	0.3	1.1	1.1	0.5	0.8	3.9	0.4	0.6
20	2.3	0.9	.....	0.5	0.4	1.2	0.9	0.4	0.9	3.5	0.4	0.5
21	2.0	1.0	.....	0.5	0.3	1.0	1.0	0.5	0.8	3.8	0.4	0.4
22	1.8	1.5	.....	0.5	0.3	1.1	0.8	1.2	0.7	3.5	0.3	0.7
23	2.3	1.6	.....	0.6	0.4	1.1	1.0	1.6	0.8	4.0	0.4	0.8
24	2.6	1.6	.....	0.7	0.4	1.3	1.1	1.7	0.7	4.5	0.4	0.8
25	2.5	2.1	.....	0.6	0.4	1.2	1.4	1.6	0.9	4.3	0.5	0.9
26	3.3	2.1	.....	0.7	0.5	1.2	1.5	2.4	0.7	5.2	0.5	0.9
27	7.0	1.7	.....	1.3	0.8	1.3	1.1	2.6	1.0	8.0	0.8	0.9
28	3.8	1.6	2.2	1.2	0.8	0.9	1.5	0.8	0.6	5.3	0.5	0.3
29	3.0	1.4	.....	2.0	0.7	0.9	1.2	0.7	0.5	4.1	0.7	0.9
30	3.5	2.9	.....	2.8	0.9	0.8	1.8	0.9	0.3	7.3	1.2	0.7
31	5.7	3.3	.....	2.5	1.0	0.6	1.0	0.8	0.1	6.2	0.8	0.6
32	8.0	1.1	.....	1.5	0.9	0.7	1.2	0.9	0.7	6.6	0.8	1.2
33	3.2	1.4	.....	1.9	0.8	1.0	1.2	0.8	0.8	4.4	0.8	0.9
34	2.2	0.7	.....	1.9	0.7	0.8	1.1	0.6	0.5	4.6	0.9	0.9
35	2.3	1.4	1.0	0.6	0.4	1.2	0.7	0.2	1.0	2.8	0.3	0.7
36	6.7	1.1	.....	1.0	0.8	0.7	1.2	2.6	0.9	4.2	0.8	0.5
37	4.1	1.2	.....	1.0	0.7	0.7	1.2	0.7	1.0	4.0	0.6	0.5
38	4.5	1.2	.....	1.3	0.8	0.6	1.4	0.2	0.9	4.6	0.5	0.4
39	3.1	1.6	0.2	1.3	0.7	1.1	2.1	0.9	0.7	2.8	0.6	0.5
40	3.2	1.7	.....	1.0	0.8	1.0	1.7	0.8	0.4	4.9	0.9	0.7
41	4.3	1.3	.....	0.8	0.8	1.2	1.1	0.5	0.7	3.5	0.8	0.8
42	2.7	1.0	0.2	0.7	0.7	1.2	1.5	0.5	1.0	3.2	0.6	1.4
43	2.6	1.1	.....	0.7	0.5	1.5	1.2	0.5	1.0	3.5	0.5	1.5
44	3.4	0.9	.....	0.8	0.7	0.9	1.5	0.8	0.8	5.3	0.8	1.5

ANEXO VII (continuación)

Estación	Ag	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
45	3.1	1.1	.....	1.1	0.6	1.6	0.7	1.3	1.2	4.7	0.7	1.5
46	2.0	1.7	.....	0.7	0.5	1.4	0.6	2.1	0.5	3.6	0.6	0.8
47	5.7	2.2	.....	1.2	1.2	1.8	1.4	1.0	0.4	4.7	1.4	1.3
48	4.9	1.8	.....	0.9	1.0	1.1	2.2	0.8	.....	5.4	1.1	0.8
49	4.8	2.4	.....	0.9	1.1	1.3	1.9	1.0	.....	4.8	1.1	1.1
50	11.2	1.9	1.6	1.8	1.5	2.0	2.1	1.2	0.2	11.0	1.2	1.0
51	3.2	1.4	.....	0.9	0.8	1.0	1.5	0.5	.....	5.3	0.5	0.8
52	2.6	1.7	0.2	0.6	0.5	1.4	1.0	0.6	0.6	3.2	0.4	0.8
53	1.4	1.2	0.2	0.4	0.3	1.2	0.5	0.5	0.7	3.2	0.3	0.8
54	2.3	1.2	0.7	0.4	0.4	1.2	0.6	0.6	0.6	3.6	0.3	0.8
55	2.5	1.1	.....	0.5	0.4	1.2	0.8	0.4	0.6	4.4	0.4	0.8
56	3.1	1.2	0.8	0.4	0.5	1.1	0.7	0.8	0.7	3.9	0.4	0.6
57	10.5	2.3	3.2	1.4	1.1	1.8	1.9	1.6	2.6	13.1	2.0	0.8
58	2.1	1.0	.....	0.4	0.4	1.0	0.8	0.3	1.0	3.6	0.5	0.7
59	2.9	1.4	0.4	0.6	0.4	1.2	1.4	0.6	1.0	4.7	0.6	0.8
60	4.0	2.0	.....	1.3	1.1	0.9	1.9	0.7	0.2	6.7	0.9	1.1
61	6.9	2.4	.....	1.4	0.8	1.9	0.8	1.4	1.8	8.7	0.6	0.9
62	1.8	1.4	.....	0.8	0.4	1.1	0.7	0.5	0.6	4.9	0.4	0.7
63	1.0	1.4	.....	0.5	0.4	1.1	0.7	0.5	0.7	3.9	0.4	0.6
64	2.2	1.6	.....	0.9	0.5	1.2	1.0	0.8	0.6	5.8	0.5	0.6
65	4.6	1.7	.....	1.1	0.8	1.6	1.8	0.8	1.3	9.5	0.8	0.5
66	2.8	1.3	.....	1.2	0.6	0.9	1.4	1.1	0.4	9.5	0.4	0.6
67	4.0	3.4	0.7	1.1	1.3	1.1	1.8	1.0	0.6	12.9	0.4	0.8
68	2.7	1.9	0.5	1.1	1.2	1.3	2.0	1.2	1.1	12.4	0.7	0.8
69	4.1	1.3	.....	1.5	1.5	1.2	2.9	1.9	1.0	16.7	1.0	1.1
70	2.3	1.1	.....	0.8	0.7	1.6	0.9	0.6	0.8	6.4	0.3	0.7
71	1.8	1.0	0.3	0.6	0.5	1.1	1.1	0.5	0.7	5.9	0.4	0.7
72	2.4	1.6	.....	0.0	0.5	1.2	0.9	0.7	0.9	7.4	0.5	0.9
73	2.2	1.3	0.5	0.6	0.3	1.1	0.8	0.5	0.8	6.8	0.4	0.9
74	8.6	2.0	2.9	1.4	1.0	1.8	1.1	0.9	1.5	17.8	0.9	1.1
75	4.5	1.4	.....	1.3	0.7	1.0	1.9	0.7	0.5	6.6	0.7	1.1
76	2.6	1.3	1.0	1.0	0.6	1.5	0.9	0.3	0.9	4.5	0.6	0.9
Media	3.5	1.6	0.7	1.0	0.7	1.2	1.2	1.1	0.8	5.4	0.6	0.8
Máximo	11.2	3.4	3.2	2.8	1.5	3.1	2.9	11.4	2.6	18.7	2.0	1.5
Mínimo	1.0	0.7	0.0	0.4	0.3	0.6	0.5	0.2	0.1	2.0	0.3	0.3

ANEXO VIII

Índice de geoacumulación de metales pesados en los sedimentos
del sistema lagunar de Altata-Ensenada del Peabellón.

Estación	Alj	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	V	Zn
1	0.7	0.5	-0.9	0.2	-0.1	0.3	0.0	0.2	0.9	0.2	0.6	-0.3	0.0
2	0.6	0.4	-1.3	0.1	0.0	0.2	0.0	0.1	1.1	0.0	0.6	-0.2	0.1
3	0.5	0.2	---	0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.8	0.0	0.4	-0.2	-0.1
4	0.7	0.7	-0.3	0.2	0.0	0.4	0.3	0.4	0.6	0.3	0.9	0.2	0.3
5	0.7	0.6	---	0.2	0.0	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.9	-0.1	0.2
6	0.7	0.5	-0.7	0.2	0.0	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.8	-0.2	0.1
7	0.6	0.2	---	0.0	-0.1	0.2	0.3	0.1	0.1	-0.2	0.8	-0.1	0.1
8	0.7	0.5	-0.6	0.1	0.0	0.3	0.4	0.2	0.1	0.2	0.9	-0.2	0.1
9	0.5	0.2	---	0.1	-0.2	0.0	0.1	-0.1	-0.1	-1.0	0.6	-0.4	-0.1
10	0.5	0.2	---	-0.2	-0.3	-0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.5	0.5	-0.3	-0.3
11	0.6	0.5	-1.5	0.2	-0.1	0.5	0.1	0.2	0.0	0.1	0.7	-0.1	0.1
12	0.5	0.2	---	0.0	-0.2	0.4	0.0	-0.1	-0.1	-0.3	0.6	-0.2	-0.4
12b	0.7	0.6	-0.1	0.2	-0.1	0.5	0.3	0.4	0.2	0.3	0.7	-0.1	0.2
13	0.6	0.6	---	0.2	0.0	0.6	0.2	0.3	0.0	0.3	0.8	-0.3	0.2
14	0.7	0.4	-0.8	0.1	-0.1	0.4	0.3	0.2	-0.1	0.2	0.7	-0.1	0.1
15	0.6	0.4	---	0.1	-0.1	0.3	0.6	0.2	0.0	0.1	0.7	0.0	-0.1
16	0.7	0.4	---	0.0	0.0	0.4	0.2	0.4	0.2	0.2	0.8	-0.1	0.1
17	0.7	0.2	---	0.0	-0.2	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.9	-0.3	0.0
18	0.6	0.3	---	0.1	-0.1	0.4	0.3	0.4	0.0	0.3	0.9	0.0	0.1
19	0.7	0.3	---	0.1	-0.1	0.4	0.4	0.3	0.1	0.2	0.9	-0.1	0.1
20	0.8	0.4	---	0.1	0.0	0.5	0.4	0.4	0.1	0.4	1.0	0.0	0.1
21	0.7	0.4	---	0.1	-0.1	0.4	0.4	0.4	0.1	0.3	1.0	0.0	0.0
22	0.6	0.6	---	0.0	-0.1	0.4	0.3	0.4	0.5	0.2	0.9	-0.1	0.3
23	0.7	0.5	---	0.1	-0.1	0.4	0.3	0.3	0.5	0.1	0.9	-0.1	0.2
24	0.7	0.5	---	0.1	-0.1	0.4	0.3	0.3	0.5	0.1	1.0	-0.1	0.2
25	0.6	0.6	---	0.0	-0.1	0.3	0.4	0.3	0.5	0.2	0.9	0.0	0.2
26	0.6	0.4	---	-0.1	-0.2	0.2	0.3	0.1	0.5	0.0	0.8	-0.1	0.1
27	0.6	0.0	---	-0.1	-0.3	-0.1	-0.2	-0.2	0.2	-0.2	0.7	-0.3	-0.3
28	0.4	0.1	0.2	0.0	-0.2	-0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	0.6	-0.5	-0.6
29	0.5	0.2	---	0.3	-0.1	0.0	0.1	0.0	-0.1	-0.3	0.6	-0.1	-0.1
30	0.2	0.2	---	0.2	-0.3	-0.4	-0.1	-0.3	-0.3	-0.8	0.8	-0.2	-0.4
31	0.5	0.3	---	0.1	-0.3	-0.5	-0.3	-0.3	-0.3	-1.3	0.5	-0.3	-0.5
32	0.6	-0.2	---	-0.1	-0.4	-0.5	-0.2	-0.3	-0.3	-0.5	0.5	-0.4	-0.2
33	0.4	0.1	---	0.2	-0.2	-0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.2	0.6	-0.1	-0.1
34	0.3	-0.2	---	0.2	-0.2	-0.2	0.0	-0.1	-0.3	-0.3	0.6	-0.1	-0.1
35	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	0.5	0.2	0.4	-0.3	0.4	0.8	-0.2	0.2
36	0.6	-0.1	---	-0.2	-0.3	-0.3	-0.1	-0.2	0.2	-0.2	0.5	-0.3	-0.5
37	0.4	-0.1	---	-0.2	-0.3	-0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	0.5	-0.3	-0.4
38	0.6	-0.1	---	0.0	-0.3	-0.3	0.0	-0.1	-0.8	-0.2	0.5	-0.5	-0.6
39	0.6	0.3	-0.6	0.2	-0.1	0.1	0.4	0.1	0.0	0.0	0.5	-0.2	-0.2
40	0.5	0.2	---	0.0	-0.1	0.0	0.2	0.0	-0.1	-0.4	0.7	-0.1	-0.1
41	0.5	0.1	---	-0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	-0.3	-0.2	0.5	-0.1	-0.2
42	0.5	0.1	-0.6	0.0	0.0	0.2	0.3	0.1	-0.2	0.1	0.6	-0.2	0.3
43	0.6	0.2	---	0.1	-0.1	0.4	0.3	0.2	-0.1	0.2	0.8	-0.1	0.4
44	0.5	-0.1	---	-0.2	-0.2	-0.1	0.1	0.0	-0.1	-0.1	0.7	-0.1	0.1

ANEXO VIII (continuación)

Estación	Ag	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	V	Zn
45	0.5	0.0	----	0.0	-0.2	0.2	-0.2	0.0	0.1	0.1	0.7	-0.1	0.2
46	0.6	0.5	----	0.1	0.0	0.4	0.1	0.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.2
47	0.6	0.2	----	0.0	0.0	0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.5	0.6	0.0	0.0
48	0.4	0.0	----	-0.3	-0.2	-0.2	0.1	-0.2	-0.3	----	0.5	0.1	-0.3
49	0.5	0.2	----	-0.2	-0.2	-0.1	0.1	-0.2	-0.2	----	0.5	0.1	-0.2
50	0.8	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.1	0.1	-0.2	-0.2	-1.0	0.8	-0.1	-0.2
51	0.3	0.0	----	-0.2	-0.3	-0.2	0.0	-0.2	-0.5	----	0.5	0.4	-0.3
52	0.7	0.6	-0.4	0.1	0.0	0.5	0.3	0.3	0.1	0.1	0.8	-0.1	0.2
53	0.5	0.5	-0.3	0.1	-0.1	0.5	0.1	0.4	0.1	0.2	0.9	-0.1	0.3
54	0.8	0.6	0.2	0.1	0.0	0.5	0.1	0.4	0.2	0.2	1.0	-0.1	0.3
55	0.6	0.3	----	-0.1	-0.2	0.3	0.2	0.3	-0.1	0.0	0.8	-0.2	0.0
56	0.6	0.3	0.1	-0.2	-0.2	0.2	0.0	0.2	0.1	0.0	0.8	-0.2	0.0
57	0.7	0.0	0.1	-0.2	-0.3	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	0.1	0.8	0.0	-0.4
58	0.5	0.2	----	-0.2	-0.2	0.2	0.1	0.2	-0.3	0.2	0.8	-0.1	0.1
59	0.7	0.4	-0.2	-0.1	-0.1	0.3	0.4	0.3	0.0	0.2	0.9	0.0	0.2
60	0.4	0.1	----	-0.1	-0.2	-0.3	0.1	-0.2	-0.3	-0.9	0.5	-0.3	-0.2
61	0.7	0.3	----	0.1	-0.1	0.2	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.9	-0.3	-0.1
62	0.5	0.5	----	0.2	-0.1	0.4	0.1	0.3	0.0	0.2	1.0	-0.1	0.1
63	0.5	0.6	----	0.2	0.0	0.5	0.3	0.5	0.1	0.3	1.0	0.0	0.1
64	0.5	0.3	----	0.1	-0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	-0.1	0.9	-0.2	-0.1
65	0.7	0.3	----	0.1	0.0	0.3	0.3	0.1	0.0	0.2	1.0	0.0	-0.2
66	0.3	0.0	----	0.0	-0.3	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.5	0.9	-0.5	-0.4
67	0.3	0.3	-0.4	-0.2	-0.1	-0.2	0.0	-0.3	-0.2	-0.5	0.9	-0.7	-0.4
68	0.2	0.1	-0.5	-0.1	-0.1	-0.1	0.1	-0.2	-0.1	-0.2	0.8	-0.4	-0.3
69	0.2	-0.2	----	-0.2	-0.2	-0.3	0.1	-0.3	-0.1	-0.3	0.9	-0.4	-0.3
70	0.6	0.3	----	0.2	0.1	0.5	0.2	0.3	0.1	0.2	1.1	-0.2	0.1
71	0.6	0.4	-0.2	0.2	0.1	0.4	0.4	0.4	0.1	0.3	1.2	0.0	0.2
72	0.7	0.5	----	0.1	0.0	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	1.2	0.0	0.3
73	0.7	0.5	0.1	0.2	-0.1	0.4	0.3	0.4	0.1	0.3	1.2	0.0	0.3
74	0.9	0.2	0.4	0.1	-0.1	0.2	0.0	-0.1	-0.1	0.1	1.2	-0.1	0.0
75	0.5	0.0	----	0.0	-0.3	-0.1	0.1	-0.1	-0.3	-0.4	0.7	-0.3	-0.1
76	0.5	0.0	----	0.0	-0.3	-0.1	0.1	-0.1	-0.3	-0.4	0.7	-0.3	-0.1
78	0.8	0.5	0.3	0.4	0.1	0.5	0.3	0.4	-0.2	0.3	1.0	0.1	0.3
Media	0.6	0.3	-0.3	0.0	-0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.8	-0.2	0.0
Máximo	0.9	0.7	0.4	0.4	0.1	0.6	0.6	0.5	1.1	0.4	1.2	0.1	0.4
Mínimo	0.2	-0.2	-1.5	-0.3	-0.4	-0.5	-0.3	-0.3	-0.8	-1.3	0.4	-0.7	-0.6