

PATRONES DE DISTRIBUCION ESPACIAL DE Cr, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb, EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE BAHIA SAN VICENTE, CHILE.*

Trabajo presentado en las XII Jornadas de Ciencias del Mar, Santiago, mayo 1992.

RAMON AHUMADA B¹.

Ramón Ahumada B.¹: Spatial distribution patterns of trace metals (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb), on surface sediments at San Vicente Bay, Chile.

San Vicente Bay is an area of multiple coastal uses, located at the central Chilean coast (36°44'S; 73°09'W). On its border-lands are located several industries, some of these are sources of trace metals (steel factory and chemical industries). Bottom sediments are a time integrators matrix of chemicals processes that occur in the water column. The ions metal inputs into the bay by different sources must result on enrichment of metal at surface sediments, and different type of patterns could be detected. On this idea, the metals distribution pattern on sediment were studied. As a complementary information, grain size and organic matter were sampled and analyzed. Results show an enrichment of metals (Cu, Zn, Cd, and Pb) on sites with soft sediments and high organic matter content. These sites are far away from those where the industrial effluents, containing trace metals are discharged. Enrichment is associated to possibles local circulation eddies and sedimentation areas, with important organic matter input. There are two areas, and both represent ca., 12% of bay surface. Niquel (Ni) and chromium (Cr) present a different pattern distribution, where the lower concentration of metal occurs on sites of high organic matter content. According to information of this work the dominant conditions (i.e., currents, resident time and sedimentation) and the chemical behavior of different soluble metal species were the elements that drive the spatial pattern distribution of metal in sediment at San Vicente Bay.

Key words: Trace metals, Sediments distributions, Embayments, Atomic absorption.

1) Facultad de Ciencias, Casilla 127, Talcahuano. Universidad Católica de la Sma. Concepción.

* El presente trabajo se realizó en el Centro EULA Chile, Universidad de Concepción y forma parte de la Tesis Doctoral en Ciencias Ambientales.

INTRODUCCION

Los metales disueltos en el agua de mar forman parte de los oligoelementos o elementos traza, encontrándose en balance geoquímico, con concentraciones típicas de partes por billón ($\mu\text{g l}^{-1}$ o ppb). La condición de balance dinámico de los metales disueltos en el agua de mar, y

por tanto su concentración, se mantiene por: a) las condiciones de polieléctrolito del agua de mar, b) contenido de materia orgánica (adsorción en partículas) y c) dinámica de los procesos oceanográficos costeros a escalas locales (dilución-difusión-advección). Esto determina que sólo en periodos cortos de tiempo (i.e., posiblemente horas) podrían detectarse

las variaciones de concentración ocurridos en el agua, por fuentes puntuales y en áreas reducidas (Duursma, 1978). En cambio el comportamiento de los metales en los sedimentos marinos es diferente, ya que estos por la dinámica de sus cambios, son una matriz integradora de las modificaciones al balance geoquímico (Broecker, 1974; Elderfield, 1978). Estas modificaciones deben ser de cierta magnitud y ser persistentes en el tiempo como para quedar registrada en la matriz. La concentración natural de los metales en los sedimentos son tres órdenes de magnitud mayor que en el agua de mar (Stumm & Morgan, 1981). Por extensión, a los metales en sedimentos se les sigue denominando metales traza y su concentración es de mg por kg (se expresan en $\mu\text{g g}^{-1}$). Las fuentes principales de metales en el océano, a gran escala son los continentes, debido a la erosión y degradación de las rocas que forman el litoral, aguas de escurrimiento superficial: ríos, o bien a partículas transportadas hasta el mar por la atmósfera (Lermann, 1979; Salomons & Forstner, 1984). Sin embargo, en escalas pequeñas las fuentes de metales de origen antrópico (industrial o relaves mineros) pueden tener una gran importancia debido a las bajas concentraciones de estas matrices ambientales. En estas condiciones es posible esperar que la distribución de los metales en los sedimentos superficiales (5 cm), estén distribuidos siguiendo un patrón que es consistente con los procesos dinámicos locales (circulación, fuentes puntuales de entrada y áreas de sedimentación). Existen agentes modificadores de las distribuciones naturales: aportes industriales, relaves mineros, residuos domésticos y alteraciones de las condiciones de sedimentación (bio-

perturbación). En el caso de Bahía San Vicente, las entradas de metales de origen industrial es reciente (i.e., los últimos 40 años, Ahumada *et al.*, (1989) y por tanto, si el sedimento es un integrador de los procesos, deberíamos observar patrones de distribución espacial de los metales en sedimentos superficiales, con gradientes desde área puntuales donde se produce el enriquecimiento de metales y áreas donde se mantienen las condiciones naturales. El presente trabajo tiene por objeto intentar encontrar evidencias que respalden o rechacen estas hipótesis, a escalas locales y de acuerdo a las características propias de cada uno de los metales estudiados.

DESCRIPCION DEL AREA: La Bahía San Vicente forma parte de un conjunto de bahías templadas, entre las latitudes 36° y 37°20'S, de la zona centro-sur de la costa de Chile. La bahía está sometida a un régimen hidrográfico regional, con un fuerte componente estacional, por las condiciones meteorológicas (vientos y lluvias), como desde el punto de vista hidrográfico, masas de agua comprometidas en la circulación costera (Alarcón, 1970; Ahumada & Chuecas, 1979).

La Bahía San Vicente por sus características de orientación, topografía costera, tamaño y profundidad es un área marginal en el efecto producido por los eventos de surgencia. Se orienta al Noroeste, con una superficie aproximada de 13,2 Km² y un volumen de agua de mar de 260,5 x 10⁶ m³. Es una bahía somera con una profundidad promedio de 20 m y un tiempo de residencia de las aguas estimado en aproximadamente 20 horas, aunque existen estimaciones recientes de 2,5 días (Brito com. pers., 1992).

Los desechos industriales vertidos a la bahía son heterogéneos y sin tratamiento previo y corresponden a material rico en materia orgánica, aguas servidas y metales pesados. Entre estos últimos, se

puede establecer que se estaría introduciendo Fe, Cu, Zn, Pb y Cd. Por otro lado, la actividad en los astilleros, relacionadas con las pinturas podrían aportar algo de Cr y Sn (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de usos de la Bahía San Vicente, relacionados a descargas de metales trazas y materia orgánica (mod. de Ahumada *et al.*, 1989).

ACTIVIDADES Y USOS

- a) Cuerpo receptor de aguas servidas. Efluente en Punta Liles.
- b) Puerto pesquero
 - i) Uso de embarcaciones industriales
 - ii) Uso de embarcaciones artesanales
- c) RIL orgánico descarga
- d) RIL del complejo industrial
 - i) Resíduos líquidos de coquería
 - ii) Actividad Siderúrgica
 - iii) Procesos industriales pesqueros
 - iv) Resíduos líquidos de Petroquímica
 - v) Resíduos de industrias químicas
- e) Astilleros
 - i) Carenas y Pinturas
 - ii) Reparaciones
- f) Puerto de Cabotaje

POSIBLES CONTAMINANTES

- Mat. orgánica, detergentes, bacterias. Volumen de 8.6×10^6 Ton año⁻¹, equivalente DBO₅ de 6,36 Ton día⁻¹ (cálculos basados en PNUMA /CPS/ECO-CEPIS (OPS), (1986).
- Petróleo, desechos y basuras
Petróleo, desechos y basuras
- Víceras, agua de sangre, escamas
- Polvillo coke, fenoles, Cianuros
Aceites, ácidos, alcali, caliza, metales*
Mat. Orgánica, Grasas, Restos sólidos
Polietileno (controlado).
Cloro activo, ácidos, bases, Fe, Zn, Pb.
- Cu (granalla), Pb, Zn solventes, pinturas
Aceites, solventes orgánicos.
- Basuras, aserrín, hidrocarburos.

*Zn, Fe, Pb, Cd.

MATERIALES Y METODOS

El muestreo se realizó cubriendo una red de 16 estaciones ubicadas en bahía San Vicente (36°44'S; 73°09'W). El primer muestreo se realizó a bordo del "B.I. Kay-Kay", durante los días 26, 28 y 30 de agosto de 1991. El segundo muestreo se realizó a bordo de la embarcación "Don

Nibaldo", durante los días 7, 10 y 15 de enero de 1992. Las estaciones de ambos muestreos fueron ubicadas en terreno utilizando un Geophysical Position System y posteriormente georeferenciadas en la Carta 613 del Instituto Hidrográfico de la Armada de Chile, del año 1984 y son las indicadas en la Fig. 1.

Las mayores dificultades que se presentan al trabajar con metales trazas en matrices ambientales, son de carácter analítico: a) Contaminación de la muestra durante la fase de recolección. b) Problemas de pérdidas o contaminación durante la manipulación de la muestra.

c) Tratamiento adecuado de la muestra y posible contaminación en el laboratorio.
d) Tener la certeza que la lecturas de equipo corresponden al metal que se desea analizar, para ello es imprescindible trabajar con estándares certificados.

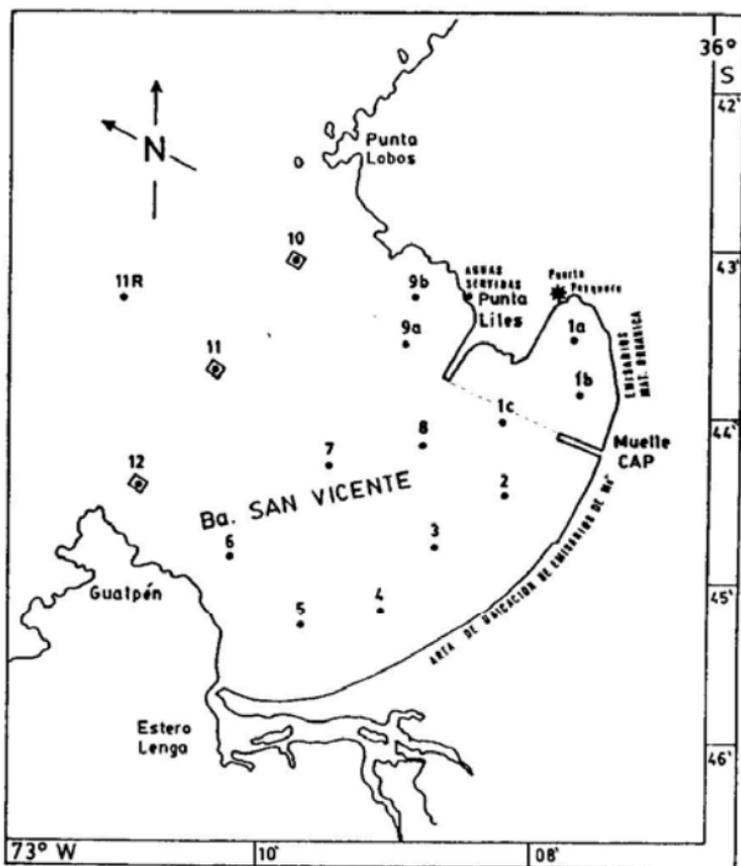


Figura 1. Plano de Bahía San Vicente que muestra la posición de las estaciones de muestreo, utilizadas en este trabajo.

Los puntos a) y b) se pueden salvar con una manipulación y prevención adecuadas durante la fase de muestreo. Del momento que la muestra entra al laboratorio y comienza su tratamiento, existen formas de determinar la incerteza de los resultados. Estos corresponden a Blancos Reactivos (cada seis muestras), análisis en duplicado y análisis de estándares certificados (intercalibración)

Las muestras de sedimento superficial fueron obtenidas mediante una draga Smith-McIntyre y submuestreada con un sacatestigo de plexiglas, depositada en bolsas numeradas de polietileno de alta densidad y guardadas en frío. Posteriormente se procedió a secar las muestras a peso constante a una tempe-

ratura de 60°C por 24 horas. El ataque ácido de la muestra se realizó bajo campana, en vasos de Teflón a 70°C utilizando una mezcla de ac. fluorídrico/perclórico (2/1), hasta la aparición de humos blancos. Se llevó a un volumen de 25 ml y se separó el sobrenadante para su análisis en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica 1100 B Perkin Elmer, usándose la técnica de llama (aire acetileno) y en algunos casos, bola de impacto.

En el presente estudio se utilizó el estándar certificado MESS-1 (Marine Sediment), preparado por Marine Analytical Chemistry Standards Programs, Canadá. Los resultados analíticos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Información sobre las condiciones analíticas de los resultados obtenidos de las muestras de metales en sedimentos, para Bahía San Vicente.

Factor Variación	(Cr)	(Ni)	(Cu)	(Zn)	(Cd)	(Pb)
Blanco Reactivo	0.010	0.020	0.005	0.025	0.005	0.008
Estandar MESS 1	71.0(+/-11)	29.5(+/-2.7)	25.1(+/-3.8)	191.0(+/-17)	0.59(+/-0.1)	34.0(+/-6.1)
Análisis MESS 1	69.4(+/-45)	29.4(+/-1.6)	25.8(+/-0.5)	184.3(+/-5)	0.52(+/-0.05)	38.5(+/-1.6)
r curva calibración	0.9997	0.9992	0.9999	0.9999	0.9969	0.9997

Por la afinidad química entre la materia orgánica y los metales, se realizó la estimación de materia orgánica total para cada una de las muestras de sedimentos. La materia orgánica en los sedimentos fue determinada empleando el método de ignición (Mook & Hoskin, 1982) y la determinación del carbón orgánico en sedimentos (Gaudette *et al.*, 1974).

Se realizó un análisis de regresión lineal entre la información obtenida para carbón orgánico y Materia orgánica como una forma de establecer la correlación de

los métodos empleados en la distribución de materia orgánica. El coeficiente de determinación $r^2 = 0.91$, indica que la variabilidad producida por la aplicación de métodos de análisis distintos es representativa de la distribución obtenida.

Los sulfuros se determinaron en el agua supra-adyacente a los sedimentos, para las estaciones realizadas en el puerto pesquero (Ests.: 1, 01 y 001). La obtención de la muestra, proveniente del agua del sacatestigo, se realizó en ambiente de nitrógeno, hasta el momento de

su fijación con acetato de plomo. El procedimiento analítico en el laboratorio se realizó siguiendo el método colorimétrico recomendado por Fonselius (Grasshoff *et al.*, 1983). Las muestras para sulfuros se obtuvieron solo en las Est. 1.

El análisis granulométrico se realizó sobre la información de 16 estaciones realizadas en este estudio, mas 18 sitios muestreados anteriormente y que mostraron una gran consistencia en la información.

Para el análisis estadístico de la información se utilizó el programa SYSTAT, el que incluye la prueba Box Wisker para reconocer los conjuntos de datos que mantienen una variabilidad hasta tres desviaciones estandar, estadística básica, y programas de ajustes de regresión lineal. Las isolíneas del contenido de metales fueron trazadas utilizando el programa SURFFER.

El factor de concentración de los metales (FC) para una estación (subíndice) fue calculado como la razón entre la concentración promedio del metal de las estaciones comprendidas en el sitio "enriquecido" y la concentración promedio de las estaciones considerada

como de línea base de acuerdo a la separación de la información cruda realizada por la prueba de Box Wisker. El mismo cálculo fue realizado para la materia orgánica y las estaciones alteradas correspondieron a las Ests. 1, 01, 001, 9a y 9b.

RESULTADOS

El análisis de distribución del tamaño de grano de los sedimentos de fondo indica que las estaciones de la parte central de la bahía, presentan sedimentos donde predominan las arenas gruesas mayores de 500 μm de diámetro y los sedimentos finos se disponen hacia los sectores laterales, alcanzando diámetros de 62 μm (Fig. 2). En general, los sedimentos se presentan bien seleccionados y con una distribución normal, con excepción de la Est. 1, 0,1 y 0,01 (ubicadas en el sector del puerto de San Vicente), que presentan una mezcla de limo-arcilla con componentes de arenas finas y medias, donde la sedimentación fina es reciente. En este sector, ubicado al norte de la cabeza de la bahía predomina el fango (limo arcilla) de color negro, mal olor y alto contenido de materia orgánica. La Tabla 3, entrega algunas de las características físico químicas determinadas para los fangos de la zona del puerto pesquero.

Tabla 3. Características físico-químicas de los sedimentos blandos del puerto pesquero de San Vicente.

Variables Matriz	Valores Promedio	Unidades	Comentario
Limo-arcilla		ϕ (ϕ)	color negro
C. orgánico	3,0(+/-01)	m-mol/g	Peso seco sedimento
Mat. Orgánica	16,82	%	Peso seco sedimento
pH	7,1	Unidades pH	Agua sobrenadante
Eh	-214	mili - volt	Agua sobrenadante
Oxígeno disuelto	N.D.	N.D.	(agua interticial).
H ₂ S	44,3	$\mu\text{g at l}^{-1}$	Agua sobrenadante

N.D. = no detectado.

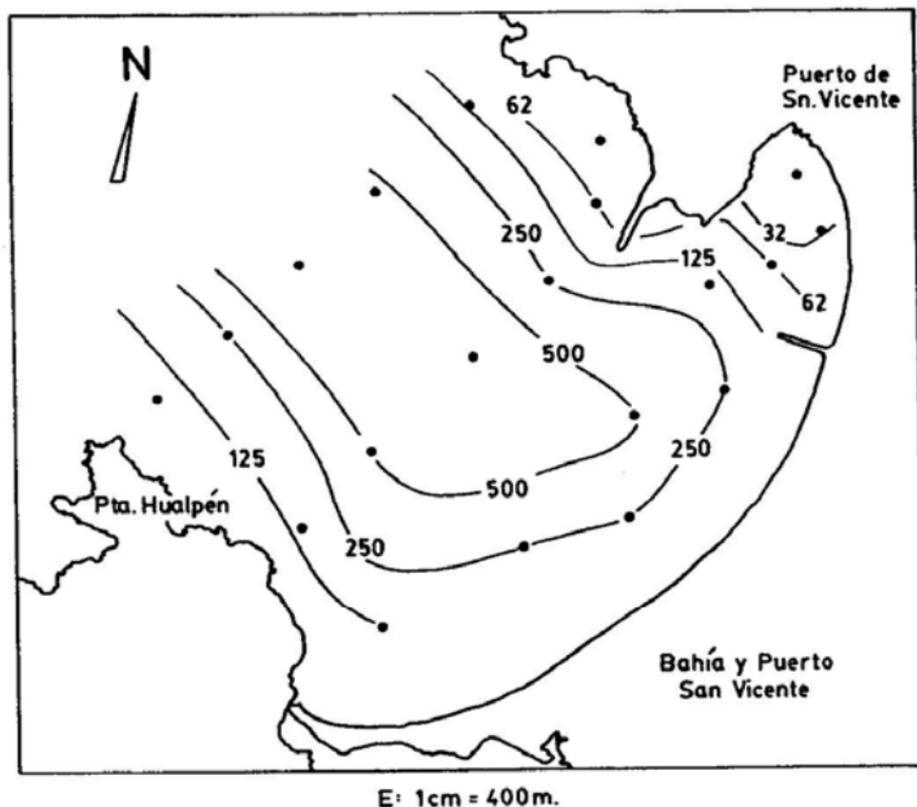


Figura 2. Distribución de sedimentos de fondo de Bahía San Vicente, de acuerdo a su granulometría (Diámetro del sedimento en μm).

Las áreas de fango reductor son coincidentes con el vertimiento de alto contenido de compuestos orgánicos: el puerto pesquero de San Vicente, emisarios de la industria pesquera (Ests.: 1, 01 y 001) y en Punta Liles, lugar de evacuación de un emisario de residuos domésticos (Ests.: 9a y 9b). Estas dos áreas, fuertemente intervenidas, presentan un alto contenido de materia orgánica y son

anóxicas. El área del puerto es la de mayor impacto y está absolutamente desfaunada y corresponde a un 12% del área de la Bahía San Vicente. Al graficar las isóneas del contenido de materia orgánica y carbón orgánico en los sedimentos se puede apreciar las áreas más afectadas por la contaminación por orgánicos (Figura 3).

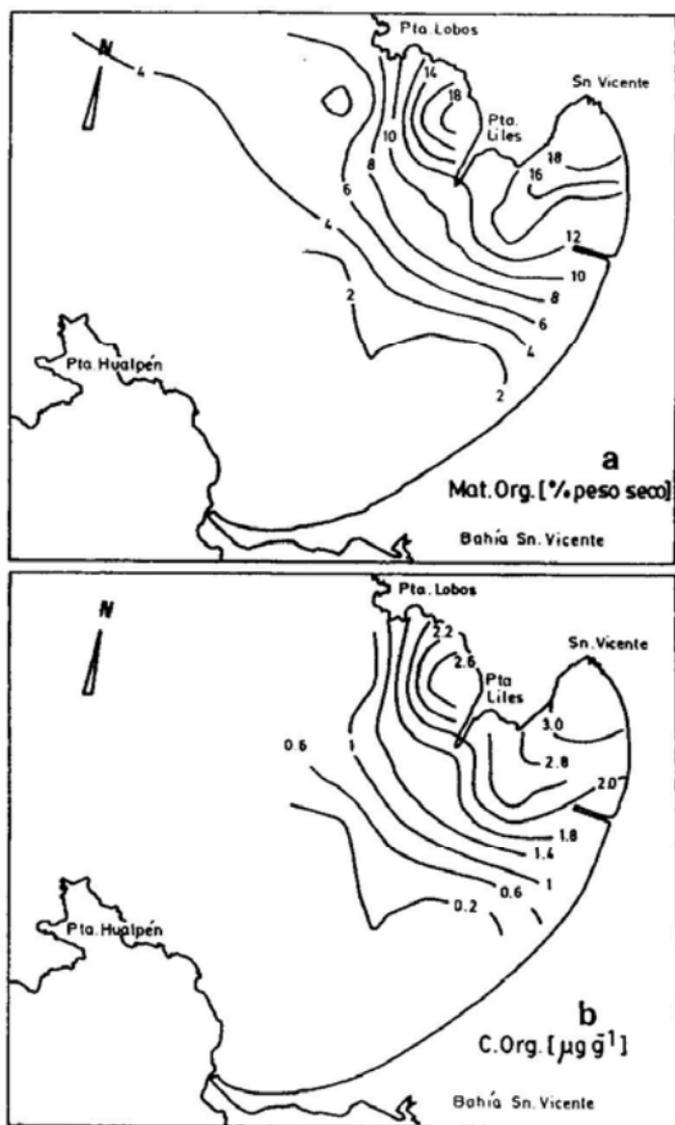


Figura 3. Isolíneas de Concentración de a) Materia Orgánica (% peso seco) y b) Carbón Orgánico ($\mu\text{g g}^{-1}$), de muestras de sedimentos de fondo obtenidas en Bahía San Vicente.

La información obtenida del análisis químico de los sedimentos, fue sometida a la prueba estadística Box Wisker, los resultados muestran la separación en dos grupos de estaciones.

Las estaciones agrupadas en el área de mayor contenido de materia orgánica, son también las que poseen mayor concentración de Cu, Zn, Cd y Pb y corresponden a las áreas de mayor intervención antrópica (Estaciones: 1, 01, 001, 9a y 9b) (Fig. 4).

Los metales como el Cr y Ni presentan un patrón de distribución distinto y las menores concentraciones están aso-

ciadas a las áreas donde predominan los sedimentos anóxicos (Fig. 5). Este comportamiento parece seguir un patrón de distribución inverso, aunque menos definido que los anteriores.

El grupo de estaciones con valores menores fue considerada como el área menos modificada y se sometió la información de metales a un programa de estadística básica, con el propósito de caracterizar la bahía de acuerdo a los promedios y establecer su variabilidad, como valores de línea base. Los resultados obtenidos, junto a los valores mas altos del grupo de estaciones modificadas, se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Caracterización estadística para contenido de metales en el sedimento de Bahía San Vicente (n=12).

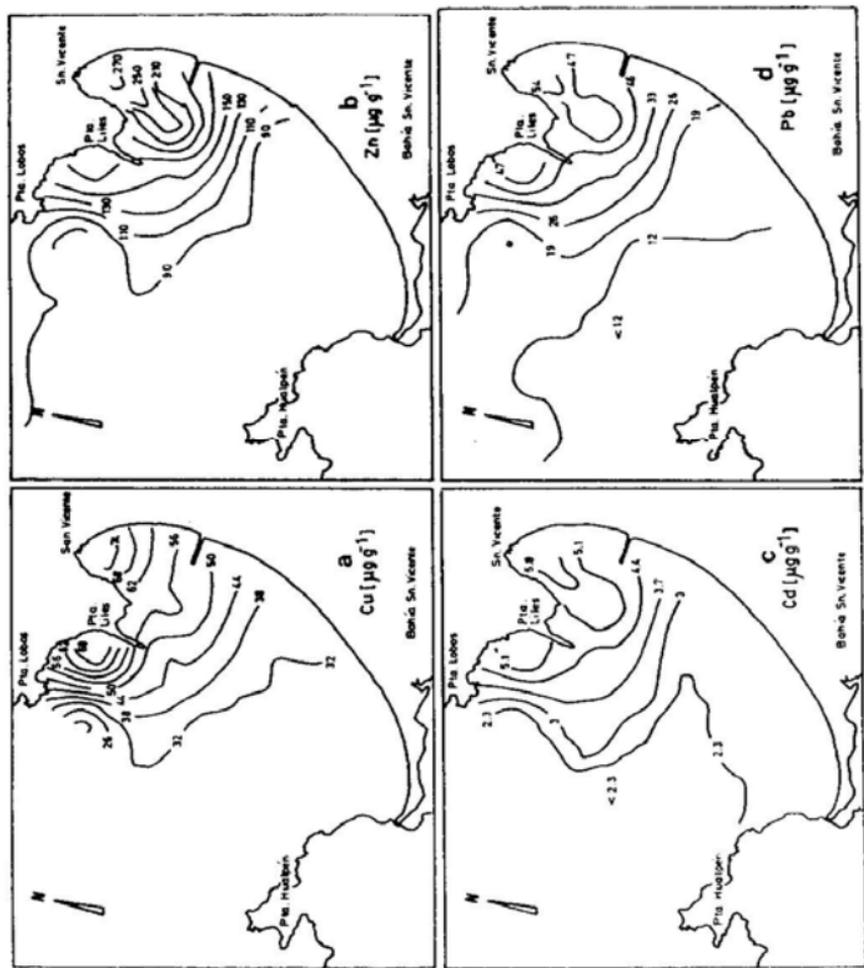
VARIABLES	[C] µg/g	V. máx.	V. mín	D. Est.	Coef. Var	V. elimin ¹ .
Mat. Org. ²	1,30**	1,68	1,10	0,22	16,67	16,82
C. Org.	0,07	0,11	0,05	0,02	28,01	3,00
Cromo [Cr]	92,96	128,80	62,73	18,54	19,94	-
Niquel[Ni]	67,24	104,49	29,53	22,07	32,82	-
Cobre[Cu]	29,43	32,62	26,49	1,96	6,67	67,04
Cinc [Zn]	81,08	88,00	73,25	4,38	5,40	257,50
Cadmio [Cd]	2,37	4,33	1,50	0,87	36,46	5,81
Plomo [Pb]	11,98	14,00	9,00	1,67	13,82	54,60

Como una forma de establecer las relaciones cuantitativas, se realizó un análisis de regresión múltiple entre materia orgánica como variable independiente y las concentraciones de Cu, Zn, Cd y Pb como variables dependientes para todas las estaciones.

El coeficiente de correlación fue de 0,989 y explicaría el 97% (coeficiente de determinación) de los cambios de concentración de metales en relación de la materia orgánica. La materia orgánica parece ser un factor determinante en la distribución de este grupo específico de metales en los sedimentos superficiales.

1 Valores eliminados después de aplicar tres desviaciones estandar (Prueba de Box Wisker).

2 Concentración de materia orgánica en porcentaje.



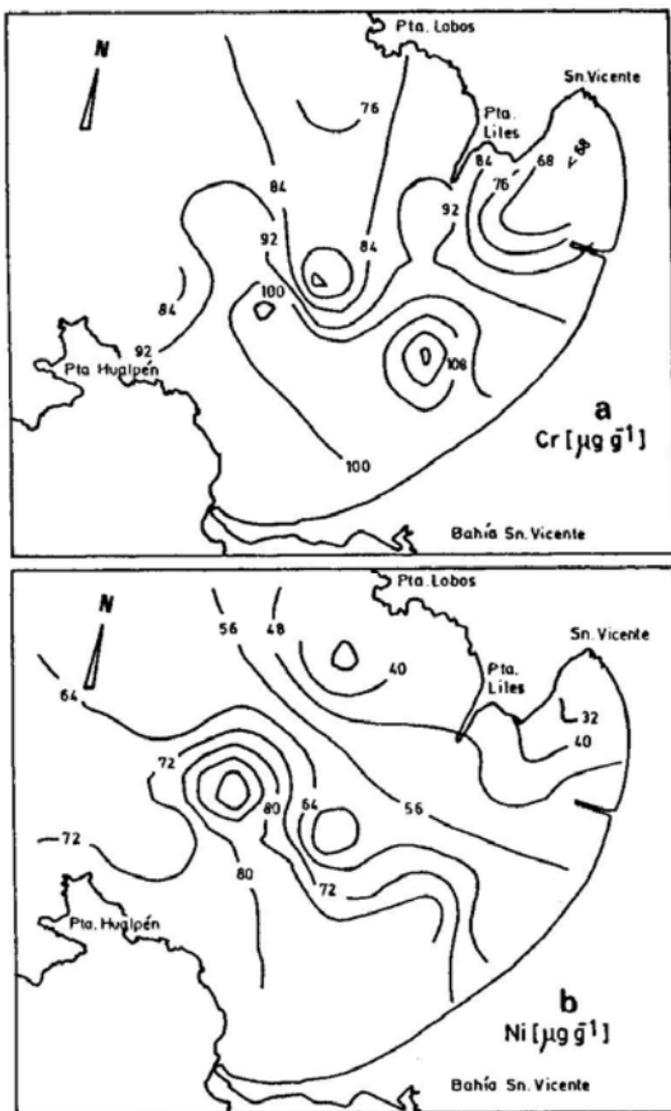


Figura 5. Isolíneas de Concentración de a) Cr y b) Ni ($\mu\text{g g}^{-1}$) de muestras de sedimentos de fondo obtenidas en Bahía San Vicente.

Los coeficientes de correlación de la matriz de correlación múltiple se muestran en la Tabla 5. Donde un ordenamiento de

los coeficientes mas altos se logra la siguiente secuencia de afinidad en relación a la materia orgánica: $Pb > Zn > Cd > Cu$.

Tabla 5. Datos de la matriz de correlación múltiple para Materia orgánica versus Cu, Zn, Cd y Pb.

	Mat. Org.	[Cu]	[Zn]	[Cd]	[Pb]
Mat. Org.	1,000	0,896	0,950	0,898	0,975
[Cu]		1,000	0,977	0,888	0,951
[Zn]			1,000	0,917	0,974
[Cd]				1,000	0,886
[Pb]					1,000

En el caso de la información de cromo y níquel, de distribución diferente, se aplicó un análisis de regresión lineal para los pares de datos de las estaciones muestreadas. El resultado muestra un coeficiente de correlación de 0,74 indicando que su patrón de distribución mantiene una cierta coherencia.

Finalmente se realizó dos regresiones lineales para los pares de metales encontrados en estaciones de características distintas. Se consideró las estaciones 1 y 2, vecinas espacialmente, con variaciones en el tipo de sedimento (i.e, arena media y fina) y un orden de magnitud menor de materia orgánica que en el puerto pesquero. El resultado es un coeficiente de correlación de 0,55, donde la variación de los metales traza no pueden ser explicada por un factor común y por tanto es probable que los mecanismos de enriquecimiento sean diferentes (Fig. 6). Sin embargo, las estaciones 1 y 9, sitios espacialmente distantes, pero donde el sedimento es semejante en granulometría y contenido de orgánicos, presentan un coeficiente de correlación de 0,91. Esto indicaría que los cambios producidos en los metales estudiados en ambas estacio-

nes pueden ser explicados en un 83% por el modelo de regresión lineal propuesto. Por tanto, hay mecanismos de enriquecimiento comunes en ambas estaciones, que permitirían explicar estas variaciones en los metales.

DISCUSION

Los supuestos básicos usados en el análisis de la información fueron: a) la composición de metales en los sedimentos de la bahía son el resultado de un equilibrio geoquímico de largo período. b) la distribución de los metales en los sedimentos es manejada por los procesos dinámicos, tales como corrientes dominantes, tiempo de residencia de las aguas en la bahía, procesos de sedimentación reciente y cambios en las condiciones físico-químicas del área. c) la entrada de residuos metálicos de origen industrial no excede los últimos 45 años. d) debido a estas consideraciones, su distribución debería ser local y presentar gradientes de acuerdo a los procesos dinámicos dominantes con gradientes de concentración a partir de los puntos de entrada.

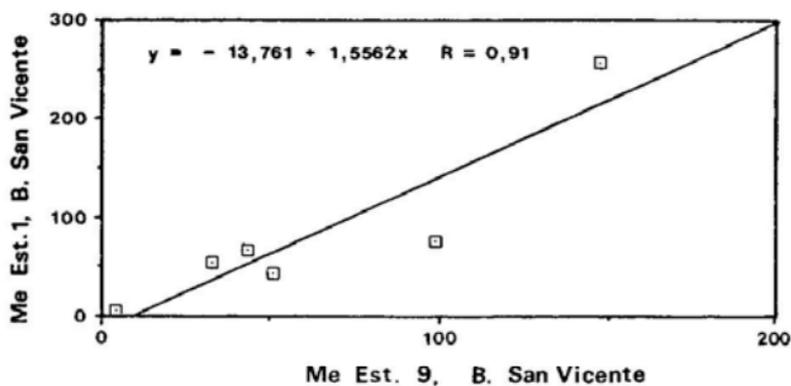
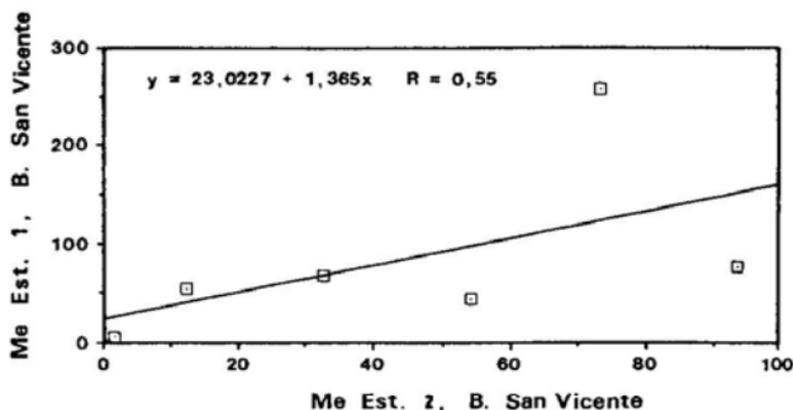


Figura 6. Modelo de regresión lineal para explicar la variación de los metales traza en estaciones 1 y 2, de ubicación contigua, y estaciones 1 y 9 de diferente ubicación, pero condiciones de sedimento parecidas.

Las concentraciones de Cu, Pb, Cd y Zn en los sedimentos superficiales muestran un patrón general de distribución, donde las máximas concentraciones coinciden con las áreas de sedimentos finos, mayor concentración de materia orgánica, condiciones de alta sedimenta-

ción y presencia de sulfuro de hidrógeno. El patrón para Cr y Ni, los otros metales estudiados es el inverso y es probable que las características de estos ambientes y las características propias de los metales podrían ser las variables que expliquen, en parte estos patrones.

La distribución actual de los metales estudiados es el resultado del balance geoquímico de este lugar modificado por la entrada de metales de origen industrial. En general, por las condiciones de pH (ácidos), la mayor parte de los metales en los efluentes llegan al mar como cationes. La capacidad para formar complejos estables con la materia orgánica es de importancia para reaccionar con el material orgánico particulado disuelto, formando núcleos de concentración de metales (Morel, 1983). De tal forma que el material orgánico particulado, sería la primera matriz que produce un secuestro de los metales disueltos (adsorción y complejos organo-metálicos). El material particulado es llevado a la zona de mayor sedimentación y depositado en el fondo. La acumulación y enriquecimiento son desde este punto de vista manejados por variables semejantes: advección - dispersión - sedimentación. A su vez, la reducción bacteriana de los sulfatos, generada por el exceso de materia orgánica, produce iones sulfurosos que reaccionan con los metales produciendo compuestos de baja solubilidad, que precipitan en los sedimentos (Morel, op. cit.). Estos mecanismos, mas la formación de algunos complejos inorgánicos (compuestos de coordinación) serían los responsables de los factores de enriquecimiento de metales traza en estas áreas. En el caso del cromo y níquel, las concentraciones encontradas en las zonas de fango, con alto contenido de materia orgánica, son menores. La explicación de este tipo de distribución debería ser buscada en procesos químicos, como por ejemplo la diferente capacidad de acomplejamiento de algunos metales respecto de la materia orgánica y sus características para desplazar a otros metales. El

estudio de esta capacidad con algunos metales ha determinado que el Cu tiene capacidad para reemplazar fácilmente al Ni y Cd (Mantoura, 1981). Nimmo *et al.* (1989), han informado que el Cu tiene una alta capacidad de formar complejos con la materia orgánica disuelta. Su capacidad es dos a tres veces la del Ni; de hecho ha demostrado que las formas predominantes de Cu en agua de mar es bajo la forma de complejos orgánicos. Por otra parte, se ha determinado que la naturaleza aniónica de los compuestos solubles de Cr en el agua de mar [i.e., $\text{Cr}(\text{OH})_3$ y $(\text{CrO}_4)^{2-}$] no favorece la interacción con los ligandos orgánicos, los cuales están cargados negativamente (Mantoura, op. cit.).

AREAS DE ENRIQUECIMIENTO DEL SEDIMENTO: De acuerdo a la distribución de los sedimentos de fondo de la bahía, las estaciones con arenas (i.e., gruesas, medias y finas) son dominantes, poseen concentraciones bajas de metales traza y la variabilidad de los promedios expresada como coeficiente de variación es menor de 36%. Esto permite pensar que esos valores están determinados por los procesos dinámicos y pueden ser asociados a valores naturales del área. Si el promedio de las áreas de arena corresponde a los valores naturales, entonces es posible estimar un factor de acumulación para la materia orgánica y un factor de concentración para metales traza, estaciones 1 y 9 (Tabla 6).

Ambos factores son mayores en la estación 1 que en la estación 9, para todas las variables calculadas. En valor absoluto, la materia orgánica es el componente que tiene la mayor incidencia en el área, seguido del plomo, cinc, cobre y cadmio.

Tabla 6. Factores de acumulación y concentración de materia orgánica y metales respectivamente para las estaciones 1 (Puerto) y 9 (Área receptora de desechos domésticos).

	Mat.Org.*	[Cu]	[Cd]	[Zn]	[Pb]
Est. 1	12,94	2,28	2,23	3,18	4,56
Est. 9	7,50	1,47	2,01	1,81	2,73

*) valores en porcentaje

Si se compara ambas estaciones (1 y 9) a través de la proporción de sus concentraciones, es decir $[C]_{Est.1}/[C]_{Est.9}$ se encuentra que esta razón es semejante para los metales analizados. Este argumento reforzaría la idea que el enriquecimiento de metales está asociado a los procesos de sedimentación de la materia orgánica y a las condiciones que ésta crea en los sedimentos de fondo.

NIVELES DE CONCENTRACION DE METALES TRAZA EN BAHIA SAN VICENTE: La bahía San Vicente, debido a su entorno industrial y el vertimiento de sus aguas residuales, es un área de riesgo para la contaminación por metales. Estudios realizados en los sedimentos han mostrado que esta área posee niveles bajos de contaminación por metales al comparar ésta localidad, con otras calificadas como contaminadas (Salamanca *et al.*, 1988).

Una comparación similar se realizó con el objetivo de establecer una referencia de los niveles encontrados en los sedimentos en el presente trabajo. En la Tabla 7, se separó las concentraciones de

los sitios de arena y de sedimento fino, rico en materia orgánica como una forma de establecer los niveles de alteración y tener una idea del nivel de línea base de concentración de metales. Los resultados muestran que en las arenas gruesas (Estaciones que conforman el promedio de línea base), las concentraciones son levemente más altas en el caso del Ni y Zn que en el Golfo de Arauco. El Ni presenta la mayor concentración en Bahía San Vicente, en relación a la información recopilada de otros sitios. Los otros metales analizados se mantienen en los niveles cercanos a los encontrados en otras localidades. En el caso de los sedimentos finos, el contenido de Pb, Zn, Cu y Cd presenta valores que pueden calificarse como áreas de enriquecimiento por actividades antrópicas. La tendencia general es que los metales se concentran en las fracciones finas de los sedimentos. Estas fracciones son de una misma muestra y menores a 0,125 mm (Araujo *et al.*, 1988; Krumgalz, 1989). En el caso de bahía San Vicente, el régimen hidrodinámico de la bahía produce una sedimentación diferencial generando zonas de sedimento fino con un alto grado de selección.

Tabla 7. Valores de referencia del área y otros sitios geográficos son presentados con propósitos comparativos.

Metales	1	2	3	4	5	6	7
Cr	100,0	38,0	133,0	-	-	92,96	87,18
Ni	55,0	14,0	43,5	45,60	17,50	67,24	47,31
Cu	48,0	6,0	72,4	27,7	23,60	29,43	67,04
Cd	0,3	1,6	3,6	3,06	2,24	2,37	5,80
Zn	95,0	40,0	176,5	77,6	53,90	81,08	257,50
Pb	20,0	21,0	166,6	17,4	14,70	11,98	54,60

Áreas Geográficas:

1. Promedio para sedimentos cercanos a la costa. (Chester & Stoner, 1975).
2. Región costera de New South Wales, Australia, AAS. Australia. (de Forest *et al.*, 1978).
3. Bahía de Boston, Río Chelsea. AAS. (Hubbard & Bellmer, 1989).
4. B. San Vicente. Análisis de Absorción Atómica. Salamanca *et al.*, 1988.
5. Golfo de Arauco. Análisis de Absorción Atómica. Salamanca *et al.*, 1988.
6. Este estudio, B. San Vicente. Análisis de Absorción Atómica. (Arena gruesa y fina)
7. Este estudio, B. San Vicente. Análisis de Absorción Atómica. (Sedimento 3% de C. org.).

De acuerdo a esto, las áreas alteradas por los niveles altos de los metales traza están localizadas y restringidas a un 12% de la superficie total de la bahía. En las áreas intervenidas, de acuerdo a las concentraciones los metales estudiados presentan la siguiente secuencia: Zn > Cr > Cu > Pb > Ni > Cd. Sin embargo, si se considera la relación entre la concentración promedio del puerto y el promedio de línea base para la bahía (i.e., $Me_{(Est 1-9)}/Me_{(LB)}$), entonces la secuencia es: Pb > Zn > Cd > Cu, donde el Cr y el Ni serían metales que estarían disminuyendo sus concentraciones en estos sitios.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la información obtenida para un grupo de seis metales estudiados en los sedimentos superficiales de Bahía San Vicente se puede concluir que los metales estudiados, de acuerdo a su distribución se pueden separar en dos grupos:

i) Cationes que poseen afinidad con la materia orgánica y que presentan una distribución acorde con el contenido de materia orgánica de los sedimentos. De acuerdo a la matriz de regresión los coeficientes de correlación con la materia orgánica establece la siguiente secuencia: Pb, Zn, Cd y Cu.

ii) Metales que presentan un patrón de distribución que se caracteriza porque las menores concentraciones se presentan en las áreas de mayor contenido de materia orgánica. Corresponden al Cr y Ni y su comportamiento estaría determinado por características químicas derivadas de su estado de oxidación. Los fondos donde dominan las arenas medias y gruesas poseen una mayor concentración de Cr y Ni. Siendo este último el de mayor concentración si se compara San Vicente con otras localidades.

La zona definida como de mayor enriquecimiento de metales corresponde a las zonas de mayor contenido de

materia orgánica y son áreas alteradas por descargas orgánicas (Puerto Pesquero y Punta Liles). Por tanto, los metales con concentraciones críticas corresponden a Pb, Zn, Cd y Cu.

Las áreas de mayor enriquecimiento fueron estimadas en un 12 % de la superficie total de la bahía y no se corresponden con las áreas de descargas de metales de origen industrial.

Finalmente, el contenido de metales en los sedimentos de bahía San Vicente, comparado con las concentraciones de otros sitios, presenta un contenido mas bien bajo de metales traza. Por lo que no existirían antecedentes para pensar que la bahía San Vicente presente impacto importante por los metales analizados, con excepción de áreas puntuales de enriquecimiento. Lo que avalaría la importancia de la dinámica de las aguas de esta bahía.

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a Prof. Jaime Tapia (Jefe del Laboratorio de Química del Proyecto EULA) por su ayuda y apoyo en la determinación de metales traza. A Alejandro Urrutia Doctorando en Ciencias Ambientales por la graficación de las isóneas para los resultados obtenidos.

LITERATURA CITADA

- Ahumada, R. y L. Chuecas 1979. Algunas características hidrográficas de la Bahía de Concepción y áreas adyacentes, Chile. *Gayana Misc.*, 8:1-55.
- Ahumada, R., Rudolph, A., Madariaga, S. y F. Carrasco. 1989. Descripción de las condiciones oceanográficas de la Bahía San Vicente y antecedente sobre los efectos de la contaminación. *Biología Pesquera*, 18:37-52.
- Alarcón, E., 1970. Descripción oceanográfica preliminar del Golfo de Arauco Bol. Inst. Fom. Pesq. Santiago, 13:1-36.
- Araujo, M.F., Bernard, P.C. & R.E. Van Grieken 1988. Heavy metal contamination in sediments from the Belgian Coast and Scheldt Estuary. *Mar. Pollut. Bull.*, 19(6):269-273.
- Broecker, W.S. 1974. *Chemical Oceanography*. Princeton University. Harcourt Brace Jovanovich, Inc., New York. 214 pp.
- Chester, R. & J.H. Stoner. 1975. Trace elements in sediments from the lower Severn Estuary and Bristol Channel. *Mar. Pollut. Bull.*, 6(6):92-95.
- De Forest, A, Murphy, S.P. & R.W. Pettis. 1978. Heavy metal in sediment from the Central New South Wales Coastal Region. *Aust. J.Mar. Freshwater Res.*, 29:777-785.
- Duursma, E.K. 1978. Migration in the seabed: some concepts. Pages 179-188. In: *Biogeochemistry of estuarine sediments*. Proceedings of a UNESCO/SCOR Workshop, Bélgica, diciembre de 1976. 293 pp.

- Elderfield, H. 1978. Chemical variability in estuaries. Pages 171-178. In: Biogeochemistry of estuarine sediment. Proceedings of a UNESCO/SCOR Workshop, Bélgica, diciembre de 1976. 293 pp.
- Gaudette, H., Flight, W. Toner, L. & D. Foldger. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. Jour. Sed Petrology, 44(1):249-253.
- Grasshoff, K., Ehrhardt, M. & K. Kremling. 1983. Methods of Seawater Analysis. Verlag Chemie. 419 pp.
- Hubbard, W.A. & R.J. Bellmer. 1989. Biological and Chemical Composition of Boston Harbor, USA, Mar. Pollut. Bull., 20(12):615-621.
- Krumgalz, B.S. 1989. Unusual grain size effect on trace metals and organic matter in contaminated sediments. Mar. Pollut. Bull., 20(12):608-611.
- Lermann, A. 1979. Geochemical Processes Water and Sediment Environments. John Wiley & Sons. New York. 481 pp.
- Mantoura, C.F. 1981. Organo-metallic interactions in natural water. Pages: 179-224. In: Duursma, E.K. & R. Dawson (Eds). Marine Organic Chemistry. Elsevier Oceanography Series.
- Mook, D. & CH. Hoskin. 1982. Organic determination by ignition: caution advised. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 15:697-699.
- Morel, F.M. 1983. Principles of Aquatic Chemistry. John Wiley & Sons. New York, 446 pp.
- Nimmo, M., Van Den Berg, C.M.G. & J. Brown. 1989. The chemical speciation of dissolved nickel, copper, vanadium and iron in Liverpool Bay, Irish Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 29(1):57-74.
- PNUMA/CPPS/ECO-CEPIS (OPS). (1986). Evaluación rápida de fuentes de contaminación para el aire, agua y suelos. Comisión Permanente del Pacífico Sur, 1-122 pp.
- Salamanca, M.A., L. Chuecas & F. Carrasco. 1988. Heavy metal content and distribution in surface sediments from three areas of the Chilean coast., Gayana (Miscelánea), 9(1-4):1-16.
- Salomons, W. & U. Forstner. 1984. Metals in the Hydrocycle. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 349 pp.
- Stumm, W. & J.J. Morgan. 1981. Aquatic Chemistry. An introduction Emphasizing chemical Equilibria in Natural Waters. 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York. 780 pp.