

NIVEL DE CONCENTRACION E INDICE DE BIOACUMULACION PARA METALES PESADOS (Cd, Cr, Hg, Ni, Cu, Pb, y Zn) EN TEJIDOS DE INVERTEBRADOS BENTICOS DE BAHIA SAN VICENTE, CHILE.

RAMON AHUMADA B.

ABSTRACT: Ahumada, R. Heavy metals level concentration and bioaccumulation index (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Cu, Pb, and Zn) in benthic invertebrate tissues at San Vicente Bay, Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso* 29(1): 77-87.

San Vicente Bay an industrialized embayment located on 36°44'S; 73°09'W at central coast of Chile was studied for the organisms tissues of heavy metal levels. Several industries are located on its adjacent coastal area, discharging liquid wastes directly into the sea. The introduction of metals into the bay is related with waste of steel mill, chemical industries and shipyard activities. According to information on posible contaminants discharged, from the local industry and with potencial risk toxicity, were selected to be investigated on the tissue content: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn. The metal input by the liquid effluent shown a secuency charge (i.e., flux x concentration) as: Pb, Zn, Cu, Ni, Cr and Cd. The Hg was introduced until november of 1991 as by product of a chloride plant. Before this date the industrial processes were changed to a membrane system. The organisms studied were choice from a benthic bay survey. *Tagelus dombeii*, *Glycymeris ovatus*, *Choromytilus chorus* and *Cancer coronatus* were selected for the studied. The quantification of the trace metals in the organism tissues reveals that Zn presents the highest concentrations, followed by Cu, Ni, Cd, Pb, Hg and Cr. However, the highest bioaccumulation factor values, in all of organisms analyzed, was the Cd by two or three magnitude orders. Thus the cadmiun tissue concentration was seem a active mechanisms on the organisms, more than the Cd level at the water concentration.

Key words: Trace metal, industrialized embayment, Central Chile, Bioaccumulation index, Atomic Absortion Spectrometric Analysis.

RESUMEN: Ahumada, R. Nivel de concentración e índice de bioacumulación para metales pesados (Cd, Cr, Hg, Ni, Cu, Pb, y Zn) en tejidos de invertebrados bénticos de bahía San Vicente, Chile. *Revista de Biología Marina, Valparaíso* 29(1):77-87.

Se estudia el nivel de concentración de metales en organismos bénticos en bahía San Vicente, localizada en los 36°44'S, 73°09'W. En sus riveras se ubican numerosas industrias que descargan residuos líquidos directamente al mar. La introducción de metales está relacionada a descargas de la industria siderúrgica, industrias químicas y actividad de astilleros. De acuerdo al tipo de industrias se seleccionó los metales de mayor riesgo de toxicidad: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn. La secuencia de carga de entrada para los metales en los efluentes líquidos fue: Pb, Zn, Cu, Ni, Cr y Cd. El Hg fue vertido hasta noviembre de 1991 por la operación de una planta de cloro-soda. Después de esta fecha la tecnología del proceso de producción fue cambiado a un sistema de membranas. Los organismos estudiados fueron seleccionados del muestreo bentónico de la bahía. Las especies estudiadas fueron: *Tagelus dombeii*, *Glycymeris ovatus*, *Choromytilus chorus* y *Cancer coronatus*. Los análisis de tejidos revelan que el Zn es el de mayor concentración seguido del Cu, Ni, Cd, Pb, Hg y Cr. Sin embargo, al calcular el factor de bioacumulación el mayor fue el Cd, en dos a tres órdenes de magnitud, seguido del Zn, Ni y Pb. Se discute la baja concentración de Cd disponible en el agua de mar y alto factor de bioacumulación calculado para los distintos organismos analizados.

Palabras claves: Metales pesados, tejido de organismos, zona costera, Chile central, bioacumulación, Espectrofotometría de absorción atómica.

INTRODUCCION

Los metales pesados corresponden a un grupo de elementos con características químicas semejantes: a) un mismo estado de oxidación (i.e., generalmente cationes bivalentes), b) igual distribución electrónica de las capas externas (metales de transición) y c) pesos atómicos comprendidos entre 63,55 a 200,59 g mol⁻¹. Estos elementos son constituyentes naturales del agua de mar y se encuentran en bajas concentraciones por lo que son conocidos como oligoelementos o elementos traza (i.e., concentración de µg L⁻¹). Algunos de estos metales son considerados esenciales para la vida, tienen como función catalizar reacciones a nivel bioquímico (se ubican en los sitios alostéricos y sitios activos de las proteínas). De hecho, aquellos metales que no tienen funciones fisiológicas reconocidas, por sus características químicas y en concentraciones levemente superiores a las naturales, pueden reemplazar a los esenciales, con disfunciones que los convierten en elementos tóxicos. Estudios ecotoxicológicos han determinado la toxicidad de diferentes metales pesados y han sido ordenados en una lista de toxicidad decreciente: Hg⁺², Cd⁺², Ag⁺¹, Ni⁺², Pb⁺² y Zn⁺² (Waldichuk 1974).

El área donde se realiza el estudio corresponde a bahía San Vicente localizada en la costa central de Chile (36°44'S; 73°09'W). En la cabeza de la bahía, se ubica un complejo industrial de características heterogéneas, que vierte residuos líquidos directamente al mar. Coexisten en esta área distintas actividades: un complejo siderúrgico, industrias químicas, industrias pesqueras, astilleros menores, actividades de cabotaje, puerto pesquero artesanal, bancos de mariscos

de explotación artesanal y áreas de cultivo marinos, lo que define esta bahía, como de uso múltiple. En términos estéticos, el deterioro ambiental es evidente y se observan incompatibilidades de usos (Ahumada *et al.* 1989).

De acuerdo a las actividades desarrolladas en la bahía, el contenido de metales en los efluentes, la toxicidad de ellos y la capacidad analítica desarrollada en el laboratorio, se seleccionó los metales a estudiar. El resultado de este análisis permitió seleccionar los siguientes metales: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn. El Hg fue agregado a la lista debido a que fue vertido hasta noviembre de 1991 por una planta de Cloro-soda. A partir de esa fecha, se cambió la tecnología de la planta para evitar este vertimiento. Sin embargo, es importante conocer la concentración residual de este elemento.

La contaminación por metales trazas se asocia al riesgo de la salud humana, debido a que los organismos tienen la capacidad de bioacumular metales y transferirlos a través, de la cadena trófica, produciendo un efecto de biomagnificación en los niveles más elevados de ella. De esta forma, se establece el riesgo al ser incorporados en la dieta del hombre.

El objetivo de esta investigación fue determinar la concentración de metales pesados en tejidos de algunos filtradores y carnívoros, capturados en bahía San Vicente, que recibe residuos industriales líquidos con metales en solución. Como una forma de conocer los niveles de concentración en el agua y en los tejidos, se calculó índices de bioacumulación por metal para las especies estudiadas a

partir de las concentraciones promedio de los metales disueltos y se discute los resultados de biodisponibilidad de metales, considerando los posibles mecanismos de incorporación sobre la base de resultados de ensayos de laboratorio. En lo específico, se propone conocer el nivel de concentración de metales bioacumulados en organismos bentónicos de hábitos distintos: filtradores y carnívoros, en una bahía donde existen fuentes potenciales de contaminación por metales.

MATERIALES Y METODOS

El diseño para el muestreo utilizó una malla de 12 estaciones que cubrió toda la bahía. Esta malla fue ampliada para ob-

tener información complementaria de áreas específicas (Ests. 001, 01 y 9a, 9b) (Figura 1). Se realizó cuatro muestreos, los dos primeros en octubre y noviembre de 1991 y los dos últimos en enero y marzo de 1992. La colección de material de fondo se realizó mediante una draga Smith-McIntyre de 0,1 m²; una vez obtenida la muestra se procedió a tomar submuestras para análisis granulométrico. Muestras obtenidas con un sacatestigo de plexiglass fueron usadas para obtener muestras para el análisis químico de los sedimentos (i.e., i.- metales; ii.- carbón orgánico; iii.- materia orgánica). Los resultados obtenidos del análisis químico de sedimentos fueron publicados en un trabajo anterior (Ahumada 1992).

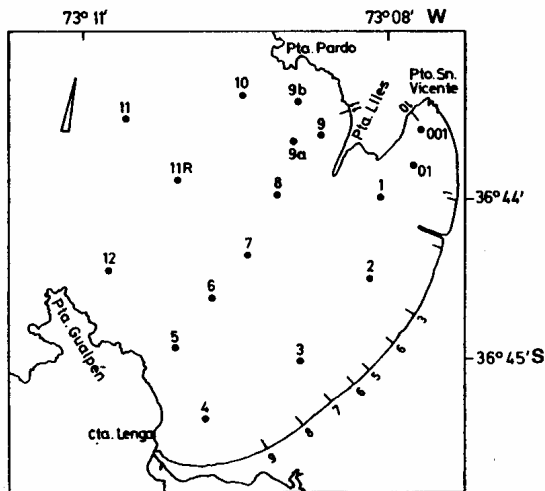


Figura 1. Plano de la Bahía San Vicente donde se muestra la ubicación de los emisarios industriales (1-9), domésticos (11) y ubicación de un astillero (10). Además se incluye la posición de las estaciones de muestreo utilizadas en este estudio.

El análisis faunístico se realizó obteniendo muestras paralelas con la draga Smith McIntyre de 0,1 m². Para ello se separó los ejemplares contenidos en la muestra mediante tamices de 500 μ a 2 cm de abertura de malla. La fracción pequeña fue lavada con agua de mar, fijada en formalina 10% neutralizada con borax, para realizar un análisis posterior. La fracción de tamaño superior fue guardada en bolsas plásticas dobles, previamente etiquetadas con el número de estación y número de ejemplares. Las bolsas fueron selladas y congeladas a -25°C para el análisis químico. La preparación de las muestras, para el análisis químico consideró descongelamiento y disección de los organismos para eliminar las partes duras. Los tejidos obtenidos fueron congelados en nitrógeno líquido (con el objeto de evitar la formación de cristales grandes) y fueron posteriormente liofilizados, molidos y homogeneizados. En esta forma las muestras fueron guardadas en frío (+5°C). Se tomó un gramo de homogeneizado y se realizó un ataque ácido, en vasos de Teflón a 70°C, con una mezcla de ácidos fluorídrico/perclórico (2/1) hasta la aparición de humos blancos. Se llevó la muestra a un volumen de 25 ml, se dejó decantar el material particulado y se separó el sobrenadante. El análisis se realizó utilizando dos Espectrofotómetros de Absorción Atómica: un 1100 B Perkin Elmer, usando la técnica de llama (aire-acetileno) y/o bola de impacto y un Perkin Elmer 503, con sistema de Horno de grafito en el caso de concentraciones bajas. Se utilizó alternativamente los equipos de acuerdo a los niveles de concentración a analizar.

Como estándar de referencia, para la calibración externa, se usó el SD-N 1/2

TM, preparado por IAEA (1992) y DORM-1 (Dogfish muscle and liver Reference Material for trace metal). Este último estándar certificado, es preparado por Marine Analytical Chemistry Standards Programs, de Canadá.

Para los cálculos de bioacumulación se usó valores promedio de metales obtenidos de las aguas de la bahía para las mismas estaciones y cruceros. El análisis de agua se realizó mediante la pre-concentración de metales de un volumen de 800 ml de agua de mar con 0.20 g de resina Chelex 100 Sigma. Posteriormente se separa la resina del agua y se acidula con HCl Suprapur (Merck) llevándose la muestra a un volumen 25 ml. Esta fracción ácida es analizada por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

El tratamiento estadístico para la concentración de metales en el agua se realizó mediante la prueba Box Whisker, para separar la información de acuerdo a 3s, diferenciando grupos diferentes (i.e., contaminación directa, contaminación indirecta, zonas no afectadas). El grupo de valores bajos, se asume con áreas poco afectadas y los niveles altos, pueden definirse como alteraciones directas por fuentes locales. Este último promedio se presenta e identifica en las Tablas 4 y 5, como valores secundarios (Me*).

En el manejo de la información, para el análisis estadístico se utilizó el programa SYSTAT. El factor de bioacumulación para los organismos fue calculado, como la razón entre la concentración del metal en los tejidos y la concentración de metal en el agua.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se presenta el número de formas, abundancia o densidad total de la macroinfauna bentónica sublitoral (>0,5 mm) y la biomasa estimada como peso húmedo alcohol (en gramos) por estación (muestra de 0,1 m²). Los individuos pertenecen a 7 taxa mayores y a 35 especies o formas diferentes de Polychaeta, Mollusca, Crustacea, Oligochaeta, Anthozoa, Nemertini y Urochordata. Predominaron en las muestras, los anélidos poliquetos, en especial *Paraprionospio pinnata* en los fondos con limo-arcilla y *Spiophanes bombyx* en las arenas finas.

Al analizar los valores se observa claramente la pronunciada cantidad de individuos presentes en las estaciones 12, 11 y en menor grado en la estación 7. Algo parecido ocurre con la biomasa de la estación 6. Pero quizás lo más notable es la desfaunación en las estaciones más cercanas al Puerto de San Vicente y la marcada disminución de especies y biomasa Punta Liles, i.e., en las estaciones 1, 2 y 9. En general en los lugares en que se detectó elevadas densidades numéricas, se debió a la contribución de una sola forma, un gusano anélido del tipo Spionidae, cuya dominancia es típica en la región.

Tabla 1. Análisis de abundancia y biomasa de la macroinfauna bentónica, encontrada en enero de 1992, en Bahía San Vicente.

Estación	N° de especies	Abundancia	Biomasa
1	—	—	—
2	9	430	4,9
3	6	160	58,3*
4	11	255	48,8*
5	9	317	95,1
6	19	1212	15,3
7	23	1492	17,0
8	11	1283	23,3
9	3	7	1,1
10	22	1240	8,3
11-R	14	174	3,3
11	25	1701	13,3
12	31	2018	14,0
		10269	302,7 g

* Se contabilizó en abundancia y biomasa *T. dombeyi*, que fue obtenida con draga durante este muestreo.

Las especies seleccionadas para el análisis de metales traza en los tejidos blandos fueron organismos filtradores de tamaño grande: *Tagelus dombeyi* Est. 2, 3, 4 (cabeza de la bahía y Est. 8) y *Glycymeris ovatus* (Est. 10). Se obtuvo como complemento *Choromytilus chorus* de un banco natural (Est. 7) mediante buceo autó-

nomo. Además fueron capturadas dos jaivas, las que fueron seleccionadas por sus hábitos alimenticios (carroñera). La Tabla 2 resume la información sobre lugar (i.e., estación de muestreo), tipo de sedimento y número de ejemplares de especies colectadas.

Tabla 2 Macrofauna bentónica seleccionada en el segundo muestreo en Bahía San Vicente con el propósito de analizar el contenido de metales en sus tejidos.

Estación	Tipo Sedimento	% Materia orgánica	Especies Colectada	Número ejemplares	Comentario
001	Fango negro	18,23	—	—	Desfaunado
01	Fango negro	19,11	—	—	Desfaunado
1	Fango negro	15,40	—	—	Desfaunado
2	Fango arena	1,12	<i>T. dombeii</i>	2	
3	Fango arena	1,10	<i>T. dombeii</i>	3	
4	Fango arena	1,11			
5	Fango arena	1,45	<i>T. dombeii</i>	5	
6	Fango arena	1,68	<i>C. coronatus</i>	2	
7	Fango arena	1,28	<i>Ch. chorus</i>	12	Obtenidos de un banco natural
8	Fango arena	1,29	<i>T. dombeii</i>	2	
9	Fango	16,65	—	—	
10	Arena fina	3,36	<i>G. ovatus</i>	8	
11	Fango	3,39			
11-R	Fango	3,19			
12	Fango	1,45			

Los resultados experimentales del trabajo analítico para la calibración externa usando los estándares

certificados SD-N 1/1TM y DORM-1 se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Información sobre las condiciones analíticas de las muestras de metales en tejidos, para Bahía San Vicente [Concentración metal en (ug/g)].

Estándares	[Cr]	[Ni]	[Cu]	[Zn]	[Cd]	[Pb]
Est. SD-N-1/2TM	87,2(±33)	26,6(±4,6)	66,8(±8,2)	379,7(±126)	12,1(±1)	126,0(±11,8)
Anál. SD-N-1/2TM	115,0	23,7	57,2	460,0	13,8	106,5
DORM - 1	3,6(±0,4)	1,2(±0,3)	5,2(±0,33)	21,3(±1,0)	0,09(±0,012)	0,4(±0,12)
Análisis	3,69	1,18	4,93	20,96	0,096	0,37

No se realizó análisis para el estándar, en el caso de Hg.

Los resultados analíticos del contenido de metales en el tejido de los organismos recolectados, resultó del promedio obtenido de tres réplicas de ho-

mogeneizado de tejido de cada una de las especies seleccionadas y se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Contenido de los metales analizados en tejidos de organismos colectados en diferentes sitios de Bahía San Vicente.

Elemento	<i>T. dombeyi</i>			<i>C. coronatus</i> Est.6	<i>Ch. chorus</i> Est.7	<i>G. ovatus</i> Est.10
	Est.2	Est.3	Est.5			
Cd [µg/g]	3,6	3,2	3,8	8,0	1,9	7,6
Cr [µg/g]	0,1	0,3	0,6	3,7	0,1	3,3
Cu [µg/g]	8,5	8,8	7,6	10,0	13,0	13,0
Hg [µg/g]	0,6	0,3	0,6	0,4	0,4	0,4
Ni [µg/g]	5,4	4,8	4,4	11,2	4,4	4,8
Pb [µg/g]	1,0	0,3	0,3	2,6	1,0	0,5
Zn [µg/g]	210,0	180,0	200,0	205,0	75,0	70,0

Para el cálculo de bioacumulación fue necesario disponer de información del entorno de los organismos. En este contexto se presenta información que permite caracterizar las aguas de Bahía San Vicente para los diferentes metales y sitios de muestreo. Con el objeto de caracterizar áreas que corresponden zonas de entrada de contaminantes y áreas de dilución se aplicó la segregación de poblaciones de datos en base a tres desvia-

ciones estándares (Box Whisker). Los resultados muestran que el Cu y Hg son los elementos que presentan sólo una población de datos para las concentraciones de los metales disueltos. En cambio el Cd, Cr, Ni, Pb y Zn muestran dos grupos de datos, denominados promedio normal y promedio secundario. La Tabla 5 presenta los valores numéricos resultantes para la caracterización de las aguas de la bahía.

Tabla 5. Valores promedio, mediana y rango del contenido de metales disueltos en el agua de mar, obtenido de tres muestreos en Bahía San Vicente (concentración en ng/g).

Metales	[C]	Mediana	Rango	Máximo	N
Cd*	0,014	0,010	0,02	0,03	29
Cd**	0,066	0,07	0,01	0,07	7
Cr*	2,96	3,03	7,80	8,00	38
Cr**	10,42	10,25	5,00	13,00	4
Cu*	3,02	1,85	10,1	10,40	40
Hg***	0,83	—	—	—	20
Ni*	0,51	0,46	1,21	1,28	37
Ni**	1,46	1,40	0,48	1,76	5
Pb*	0,16	0,14	0,38	0,40	26
Pb**	0,80	0,84	0,42	0,98	12
Zn*	5,86	5,33	10,28	12,50	29
Zn**	30,95	25,71	30,00	47,50	10

*= Valor normal

**= Valor secundario

***= Valor tomado de Díaz (1993)

DISCUSION

La concentración de metales encontrados en los tejidos de organismos son coherentes con relación a las especies analizadas, a los sitios de muestreo y al contenido de metales. Así por ejemplo *T. dombeii*, bivalvo filtrador, capturado en el sector de la cabeza de la bahía (Est. 2, 3 y 5) presenta concentraciones semejantes para los metales analizados, con excepción de Pb y Cr, donde el Pb mayor en la Est. 2 y el Cr mayor en la Est. 6. Una condición distinta ocurre con *Glycymeris ovatus* y *Choromytilus chorus*, filtradores que fueron capturados en otras áreas de la bahía presentan concentraciones mayores a las registradas para *T. dombeii* en Cr y Cu. La secuencia de la concentración de metales traza en el tejido de los organismos fue: Zn>Cu>Ni>Cd>Pb>Hg>Cr, y se mantiene para la mayoría de los organismos analizados, con excepción de *G. ovatus*, donde el Cd desplaza al Ni en el tercer lugar. El contenido de Zn puede llegar a ser dos órdenes de magnitud mayor que el contenido de Cu. En la secuencia, a partir del Cd las diferencias de concentración son pequeñas, con excepción de *G. ovatus* que presenta diferencias en el contenido de Cd y Cr que hacen variar el ordenamiento. *Cancer coronatus* especie carnívora, de hábito carroñero, presenta las concentraciones más altas y mantiene el ordenamiento de los primeros elementos y se producen algunas variaciones posteriores.

En relación a la concentración de metales en los tejidos de los filtradores *G.*

ovatus, parece ser la especie de bivalvo con mayor capacidad para fijar Cd y Cr seguida de *T. dombeii* y finalmente *Ch. chorus*. En cambio el Zn es fijado principalmente por *T. dombeii* donde las concentraciones alcanzan hasta tres veces la concentración de los otros moluscos. Las diferencias de concentración detectada para los otros metales no parecen importantes.

Con el objeto de calcular un factor de bioacumulación de los metales en los organismos, se utilizó el promedio de las concentraciones de metales de las aguas de la bahía (Tabla 6). Los valores secundarios para agua de mar se producen en general en las áreas alteradas, con escasa fauna bentónica o desfaunadas y fueron incluidos sólo como un elemento de referencia para los resultados.

La Tabla 6, muestra que la capacidad de bioconcentración de los organismos es independiente de la concentración de metales en el agua. De hecho, el Cd que se encuentra en las concentraciones más bajas en el agua, es el elemento que presenta mayor bioacumulación.

El ordenamiento de metales de acuerdo a los mayores valores del factor de bioacumulación muestra una secuencia diferente que la obtenida de acuerdo al nivel concentración del contenido metales en los tejidos. En este caso, el Cd parece ser bioacumulado en forma preferente por los organismos.

Cd >> Zn > Ni > Pb > Cu > Hg > Cr

Tabla 6. Resultados del cálculo del Factor de bioacumulación* obtenidos de organismos colectados en diferentes sitios de la Bahía San Vicente.

Elemento	<i>T. dombeii</i>			<i>C. coronatus</i>	<i>Cl. chorus</i>	<i>G. ovatus</i>
	Est.2	Est.3	Est.5	Est.6	Est.7	Est.10
Zn [x 10 ³]	35,84	30,72	34,13	34,98	12,80	11,95
Zn** [x 10 ³]	6,79	5,82	6,46	6,62	2,42	2,26
Cu [x 10 ³]	2,81	2,91	2,52	3,31	4,30	4,30
Ni [x 10 ³]	10,59	9,41	8,63	21,96	8,63	9,41
Ni** [x 10 ³]	3,70	3,29	3,01	7,67	3,01	3,29
Cd [x 10 ³]	257,14	228,57	271,43	571,43	135,71	542,86
Cr [x 10 ³]	0,034	101,35	202,70	1250,00	33,78	1114,86
Cr** [x 10 ³]	0,001	28,79	57,58	355,09	9,60	316,70
Pb [x 10 ³]	6,25	1,88	1,88	16,25	6,25	3,13
Pb** [x 10 ³]	1,25	0,375	0,38	3,50	1,25	0,625
Hg [x 10 ³]	0,723	0,361	0,723	0,482	0,482	0,482

* La bioacumulación resulta de la razón entre la concentración del metal en el organismo y la concentración en el agua.

** Se consideró los valores secundarios en el cálculo de la bioacumulación.

En este caso el Cd presenta el mayor factor de bioacumulación en todos los organismos analizados, en cambio el Cr presenta el menor valor. En relación al nicho ocupado por las diferentes especies analizadas, es notable la capacidad de bioacumulación para Cd, Ni y Pb (biomagnificación?) de *C. coronatus*. Según este cuadro *T. dombeii* es el segundo organismos bioacumulador y *Cl. chorus*, es el organismo que presenta la menor capacidad.

De acuerdo a los resultados encontrados en el presente trabajo y por la información analizada, parece pertinente incorporar tres elementos a la discusión: a) disponibilidad de metales en el medio; b) formas de incorporación; c) bioconcentración.

En general, los estudios realizados sobre disponibilidad de metales y bio-

acumulación se han realizado a la forma de bioensayos de toxicidad (Phillips 1977, Cossa 1990). Donde las concentraciones nominales son hasta tres órdenes de magnitud mayor que las naturales. En estas condiciones se ha encontrado que la incorporación de metales responde a una regresión lineal simple de la concentración del medio y por tanto, se habla de un mecanismo de difusión pasiva, esto ha sido descrito con especial referencia para el Cd (Viarengo 1989). Esta forma de incorporación del metal dependería de la concentración externa del metal. Sin embargo, de acuerdo a los resultados aquí obtenidos, pareciera ser que la incorporación de metales, y especialmente el Cd, depende de las características químicas del elemento y de la capacidad del organismo para bioconcentrarlo.

Los resultados del trabajo de campo, las bajas concentraciones natura-

les del agua (ppb) y las concentraciones en los tejidos (ppm), hacen pensar que los organismos bioconcentran Cd en forma activa. Sin embargo, en concentraciones por sobre un umbral, la incorporación del metal puede ser pasiva y depender de la concentración externa. Condición que ha sido observada en bioensayos de toxicidad para Cd en *Ch. chorus*, donde las concentraciones ensayadas han sido anormalmente altas (Román *et al.* 1993). Esto último puede explicarse por los efectos fisiológicos que el metal puede producir en el sistema de balance de cationes a nivel de la permeabilidad celular. Según los trabajos de Viarengo y colaboradores (Viarengo A., *et al.* 1988, Viarengo 1989, Viarengo A. & P. Nicotera 1991; Viarengo A. & J.A. Nott. 1992), el Cd altera el balance Na/K/Ca y determina el reemplazo del Ca produciendo selectividad en su paso por las membranas con un incremento en la concentración interna. De acuerdo con esto, la introducción de Cd para bajas concentraciones no parece ser lineal y se hace lineal cuando su entrada se altera por la ruptura de la capacidad de transporte activo debido a las altas concentraciones externas, condición que ocurre a nivel de pruebas de toxicidad aguda.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la información obtenida y analizada es posible concluir:

Que el nivel de concentración de

metales disueltos en el agua de mar, no establece una secuencia que se relacione la mayor concentración en el agua, con la mayor concentración bioacumulada del metal en los tejidos.

Que la secuencia en orden de concentración en el agua es:

Zn > Cr > Cu > Ni > Pb > Hg > Cd, diferente a la secuencia de concentración detectada en los tejidos de los organismos estudiados:

Zn > Cu > Ni > Cd > Pb > Hg > Cr.

y diferente que la bioacumulación estimada. Esta última es al parecer independiente de la concentración de los metales disueltos debido a procesos de incorporación activa de metales:

Cd >> Zn > Ni > Pb > Cu > Hg > Cr.

Finalmente, la variabilidad observada en el nivel de concentración de metales en los tejidos parecería responder a tres componentes: i.- posición en la escala trófica o los hábitos alimenticios de las diferentes especies estudiadas; ii.- ubicación de las estaciones en relación a las fuentes de introducción de metales y lugar donde fueron colectados los organismos (gradiente de exposición); y iii.- capacidad de bioacumulación, que es propia de cada especie analizada y las características de cada metal en particular.

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a Minera Escondida por facilitar el Estándar de metales DORM, para tejidos de organismos. Este trabajo se realizó como parte del Proyecto de Formación del EULA-Chile.

LITERATURA CITADA

- Ahumada R. 1992. Patrones de distribución de metales traza (Cr, Ni, Zn, Cu, Cd y Pb) en sedimentos superficiales de Bahía San Vicente, Chile. *Revista de Biología Marina. Valparaíso* 27(2): 265-282.
- Ahumada, R.; Rudolph A.J.; Madariaga S. & F. Carrasco. 1989. Descripción de las condiciones oceanográficas de la Bahía San Vicente y antecedentes sobre los efectos de la contaminación. *Biología Pesquera*, 18: 37-52.
- Cossa, D. 1990. A review of the use of *Mytilus* sp. as quantitative indicators of cadmium and mercury contamination in coastal waters. *Oceanologica Acta* 12(4): 417-432.
- Díaz O. P. 1993. *Tagelus dombeii* como organismo indicador de la calidad del agua marina en la zona costera de la Bahía San Vicente (VIII Región, Chile) y del riesgo de contaminación por mercurio y metilmercurio de origen antrópico. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Ambientales. Escuela de Graduados. Centro EULA-Chile. Universidad de Concepción. 125 pp.
- Phillips, D. 1977. The Common Mussel *Mytilus edulis* as an Indicator of Pollution By Zinc, Cadmium Lead and Copper. I. Effects Environmental Variables on Uptake of Metals. *Marine Biology* 43: 283-291.
- Román G.; Rudolph A. & R. Ahumada. 1993. Efectos de toxicidad aguda por cadmio en un bivalvo marino, *Choromytilus chorus* (Molina, 1782). Resúmenes XIII Jornadas de Ciencias del Mar. Viña del Mar, 26 al 28 de mayo 1993. Universidad Católica de Valparaíso-Comité de Ciencias del Mar. 152 pp.
- Viarengo A. 1989. Heavy metals in Marine Invertebrates: Mechanisms of Regulation and Toxicity at the Cellular Level. *Aquatic Sciences*, 1(2): 295-317.
- Viarengo A.; Mancinelli G.; Martino G.; Pertica M.; Canesi L. & A. Mazzucotelli. 1988. Integrated cellular stress indice in trace metal contamination: critical evaluation in a field study. *Marine Ecology Progress Series* 46: 65-70.
- Viarengo A. & J.A. Nott. 1992. Mechanisms of heavy metal cation homeostasis in marine invertebrates. *Comp. Biochem. Physiol., Gallery proff*, 1-18.
- Viarengo A. & P. Nicotera. 1991. Possible role of Ca^{+2} in heavy metal cytotoxicity. *Comparative Biochemical Physiology*, 100(1/2): 81-84.
- Waldichuk, M. 1974. Some biological concepts in heavy metals pollution. In: *Pollution and physiology of marine organism*. Vernberg, F. J. & W.B. Vernberg. (Eds). Academic Press, New York. 492 p.