

Contenido de metales (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) en organismos bentónicos de áreas prístinas: Campos de hielo sur (48° - 52° lat. Sur), Chile

Metals content (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) in benthic organisms of pristine areas: Southern ice fields (48° - 50° S), Chile

RAMÓN AHUMADA BERMÚDEZ^{1*} RAMÓN AHUMADA-RUDOLPH² & ELIZABETH GONZÁLEZ SEPULVEDA³

¹Departamento de Química Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Casilla 297, Concepción, Chile.

²Facultad de Ciencias Ambientales, Centro EULA, Universidad de Concepción, Casilla 160. Concepción, Chile.

³Departamento de Química Ambiental, Facultad de Ciencias, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Casilla 297, Concepción, Chile.

*rahuma@ucsc.cl

RESUMEN

Se analizó el contenido de metales totales en organismos bentónicos recolectados en Campos de Hielo Sur, con el objeto de establecer patrones de abundancia de metales en los organismos y concentración de referencia de metales (línea base) en una zona de aguas prístinas. Se estudiaron seis especies 5 moluscos bivalvos y un erizo. Los análisis se realizaron utilizando un espectrómetro de emisión atómica acoplado a plasma (ICP-AES). Se estableció un ranking de abundancia de metales para los analitos y fue similar para las diferentes especies: Zn > Ba > Cu > Co > Cd > Cr > Ni > Pb e independiente de los valores de concentración de cada metal en particular. Se estableció por comparación que la concentración de metales informada fue semejante a otros sistemas no alterados antrópicamente.

PALABRAS CLAVE: Línea base, metales, organismos submareales, fiordos subantárticos, Patagonia Chilena.

ABSTRACT

The total metal contents in benthic organisms inhabiting Southern ice field were studied in order to establish the abundance patterns and base line metal contents in pristine areas. Metal contents were determined using Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES) in five bivalve mollusks and a sea urchin. The ranking order of metal abundance was similar to different species: Zn > Ba > Cu > Co > Cd > Cr > Ni > Pb and independent of the individual values. Natural contents of these eight metals in six benthic species were established as a reference for anthropogenically undisturbed sediment system in the Chilean Patagonia.

KEYWORDS: Base line, metals, subtidal organism, subantarctic fjord, Chilean Patagonia.

INTRODUCCIÓN

Existe escasa información publicada en Chile sobre la concentración de metales en tejido de organismos marinos (Ahumada 1994, Díaz *et al.* 2001, Castillo & Valdés 2012, Castro & Valdés 2012) y no hay registros del contenido de metales en organismos que habitan áreas poco intervenidas o prístinas. La concentración de metales en las distintas matrices ambientales de áreas poco intervenidas, debería estar manejada por procesos naturales que dependen de las características geológicas, físicas, químicas y biológicas,

para alcanzar ciertos equilibrios naturales. Esta información se hace relevante cuando se requiere comparar o establecer un referente respecto de áreas alteradas antrópicamente o del estado de salud de un sistema (González *et al.* 2009, Valdés *et al.* 2014).

El sector costero de Campos de Hielo Sur, entre 48° - 52° Lat. S., es un lugar remoto con una densidad poblacional de 0,1 habitantes por km², sin alteración antrópica. Sus características escénicas de bosque templado húmedo, con zonas protegidas para la acuicultura en el mar interior, pesca

en el área subantártica adyacente y con una alta potencialidad para el desarrollo de la salmonicultura, hacen que esta región comience a incorporarse a la actividad económica del país. Su ocupación es compleja, ya que la profundidad de sus cuencas, condiciones dinámicas de intercambio de aguas y tiempos de residencia, hacen de estos sitios áreas de gran fragilidad ambiental (Silva & Palma 2006).

El sedimento en la zona costera adyacente a Campos de Hielos Sur presenta una textura limosa de fondos blandos (Ríos & Cisternas 1998). La materia orgánica disponible provendría del sistema marino y el sector continental aportaría las fracciones minerales (Ahumada 1998). Regionalmente en el área, se ha establecido una cierta homogeneidad en el contenido de metales en el sedimento (Ahumada & Contreras 1999) y bajas concentraciones en la columna de agua (Ahumada *et al.* 2006).

Se analiza el contenido de metales en tejidos de organismos bentónicos recolectados en el sector costero de Campos de Hielos Sur, con el objetivo de establecer patrones de abundancia en el contenido de metales (Zn, Ba, Cu, Co, Cd, Cr, Ni y Pb) para diferentes especies submareales, con distintos hábitats bentónico y localidades. Además, para establecer

concentraciones de referencia (línea base) para organismos que habitan zonas poco alteradas antropogénicamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El área de muestreo correspondió a la zona costera de fiordos y canales que acceden a Campos de Hielo Sur, una superficie de 12.000 km² con 300 km de longitud por 40 km de ancho. Se ubica entre los paralelos 48° 20' S y los 52° S a lo largo del meridiano 73° 20' W. Se caracteriza por extensos glaciares continentales en la zona subantártica de América del Sur (Fig. 1). Los glaciares que se ubican en la cabeza de los fiordos se proyectan latitudinalmente hacia el océano *i.e.*, canales (C), esteros (E) y senos (S): C. Baker, S. Eyre, S. Europa, S. Penguin, E. Peel, C. Sarmiento y C. Kirke. A su vez ellos conectan con la costa a través de canales longitudinales: C. Messier, C Fallos, C. Concepción y C. Smith, antepuestos a la zona costera. Los glaciares se encuentran en un periodo de retroceso (Clapperton 1994), con fiordos de fondos irregulares, con profundos surcos y cuencas que facilitan la sedimentación de partículas (Araya-Vergara 1999).

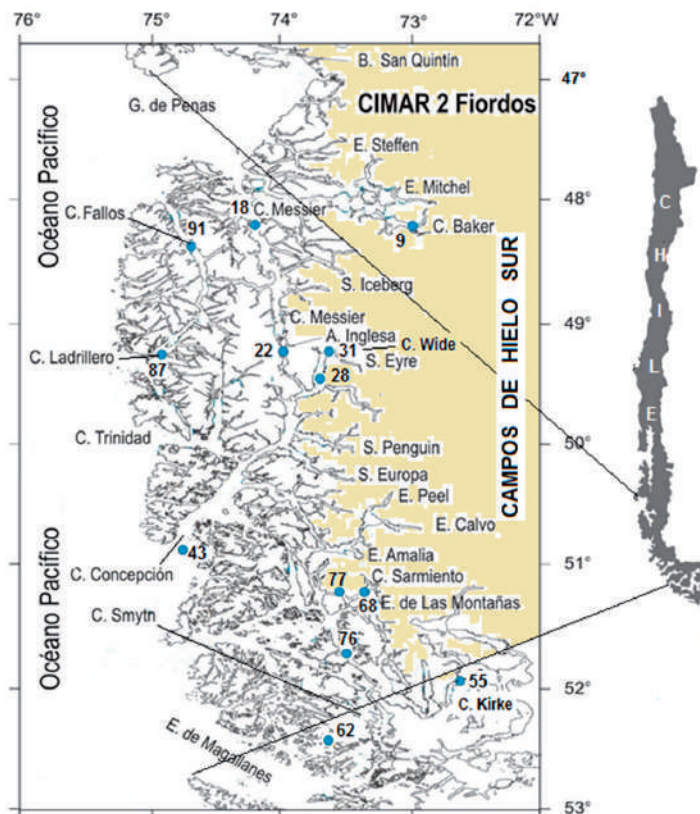


FIGURA 1. Área de muestreo que indica los sitios de recolección de organismos submareales, obtenidos durante el Crucero CIMAR FIORDO 2.

FIGURE 1. Tract indicating collection sites of subtidal organisms, obtained during CIMAR FIORDO 2.

MUESTREO Y ANÁLISIS

La recolección de muestras se realizó bajo el Programa: Cruceros de Investigación Marina en Áreas Remotas (CIMAR). El muestreo se realizó durante el Crucero CIMAR - Fiordo 2, a bordo del buque "AGOR Vidal Gormaz", entre el 15 de octubre y el 7 de noviembre de 1996. El área de muestreo comprendió la zona costera entre el Golfo de Penas y la entrada oriental del Estrecho de Magallanes (ver Figura 1). Se muestreó mediante buceo autónomo 13 localidades, se recolectaron 6 especies en que dominaron los moluscos bivalvos del intermareal (profundidad de 2 a 20 m) y submareal utilizando una rastra triangular (profundidades mayores de 25 m), con un total de 69 individuos (Tabla 1). Las muestras inmediatamente de recolectadas fueron guardadas a -18 °C. En el laboratorio, una vez descongeladas se extrajo las partes blandas y se realizó una muestra compuesta, para cada especie y localidad (n = 21). Las muestras fueron liofilizadas (Freeze Dry System/Frezone 4.5 Lab. CONCO), disgregadas y molidas en un mortero de ágata. Se realizó digestión ácida de 1 g de muestra seca,

utilizando una mezcla 1 : 1 de HNO₃ : HCl. Se trabajó en duplicado, a 60°C por 5 h y agitación continua. El sobrenadante fue extraído y aforado a 50 mL.

El análisis de los metales: Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn, se realizó mediante Espectrometría de emisión con acoplamiento inductivo de plasma (EEA-ICP), utilizando un equipo Perkin Elmer modelo 2000, el que fue calibrado con una solución multielemental preparada a partir de soluciones patrón para cada elemento analizado (Boss & Fredeen 1999).

El cálculo de incerteza de las mediciones se estimó utilizando material de referencia certificado (MRC). Se usó como MRC DOLT-2 (*National Research Council*, Canadá 1996). La incerteza se expresó como el porcentaje de diferencia entre el valor verdadero (valor certificado del material de referencia) y el valor experimental o analítico obtenido de la digestión ácida y análisis del material de referencia (Tabla 2).

TABLE 1. Estaciones de muestreo, localidades, posición geográfica, especie muestreada y número de individuos (N° indiv.), recolectados en cada localidad.

TABLE 1. Stations, localities, geographical positions, organisms, and number of individual sampled.

ESTACIÓN	LOCALIDADES	LATITUD	LONGITUD	ESPECIE	N° INDIV.
9	Canal Baker	48° 04' 50"	73° 38' 20"	<i>Mytilus chilensis</i>	5
18	Canal Messier	48° 25' 10"	74° 32' 20"	<i>Aulacomya ater</i>	5
22	Paso el Indio	48° 59' 80"	74° 26' 20"	<i>Aulacomya ater</i>	5
28	Seno Eyre	49° 16' 40"	74° 06' 40"	<i>Aulacomya ater</i>	5
31	Canal Wide	49° 47' 20"	74° 21' 48"	<i>Choromytilus chorus</i>	5
43	Canal Concepción	50° 47' 55"	75° 12' 80"	<i>Loxechinus albus</i> <i>Protothaca thaca</i>	3 2
55	Canal Kirke	52° 04' 00"	72° 59' 00 "	<i>Aulacomya ater</i> <i>Mytilus chilensis</i>	2 3
62	Canal Smyth	52° 38' 25"	73° 41' 15"	<i>Aulacomya ater</i> <i>Clamys patagonica</i>	3 2
68	Canal Sarmiento	51° 27' 30"	74° 03' 25"	<i>Protothaca thaca</i> <i>Aulacomya ater</i>	3 3
76	Canal Peel	50° 34' 61"	74° 15' 19"	<i>Aulacomya ater</i> <i>Protothaca thaca</i>	3 3
77	Brazo del Norte	49° 25' 90"	74° 44' 40"	<i>Mytilus chilensis</i> <i>Choromytilus chorus</i>	3 3
87	Canal Ladrillero	49° 06' 24"	75° 15' 25"	<i>Loxechinus albus</i> <i>Aulacomya ater</i>	2 3
91	Canal Fallos	48° 04' 15"	75° 17' 00"	<i>Aulacomya ater</i> <i>Protothaca thaca</i>	3 3

TABLE 2. Concentración metales (X) en $\mu\text{g g}^{-1}$ obtenido del material de referencia certificado (Certificated Reference Material, 1996). (DS = desviación estándar; CV = coeficiente de variación; (X)MRC = Valor experimental medido. A partir de esta diferencia se estima el error analítico (o Incerteza analítica).

TABLE 2. Metal concentration (X) in $\mu\text{g g}^{-1}$ obtained from the certified reference material (Certificated Reference Material 1996). (SD = standard deviation, CV = coefficient of variation; (X)MRC = measured experimentally determined. From this difference the analytical error is estimated (or analytical uncertainty).

METALES	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
X ^a	3,13	0,31	0,26	27,61	2,29	16,24	0,11	22,22
D.S (±)	0,30	0,05	0,02	1,03	0,18	1,36	0,05	3,93
CV %	9,48	16,87	8,35	3,73	7,86	8,37	45,45	17,69
X MRC	-	0,40	0,23	30,70	2,34	19,40	0,10	25,6
D.S (±)	-	0,01	0,03	5,50	0,20	3,10	0,01	2,30
Incerteza %	---	22,50	11,50	11,20	2,20	16,28	10,00	13,00

X^a Medición experimental de laboratorio, promedio y desviación estándar de tres determinaciones independientes.

X^a Laboratory experimental measurements, averages and standard deviation of three independent determinations.

TABLE 3. Concentración promedio de los metales ($\mu\text{g g}^{-1}$) analizados en el tejido blando de los organismos, como referentes (línea base) y ordenados en función de concentración. (N = 8; grados de libertad = 5; w = 0,917; p < 0,001; Ch² = 3.61).

TABLE 3. Average metal concentrations ($\mu\text{g g}^{-1}$) analyzed in the soft tissues, as reference (baseline) and sorted according to tissue concentration. (N = 8, degrees of freedom = 5; w = 0.917; p < 0.001; Ch² = 3.61).

	Zn	Ba	Cu	Co	Cd	Cr	Ni	Pb
<i>M. chilensis</i>	83,1±35	10,8±4,7	5,7±3,0	1,5±1,0	0,9±0,3	0,8±0,4	0,6±0,2	0,7±0,7
<i>Ch. chorus</i>	87,1±52	6,8±5,4	4,6±0,5	2,3±1,7	0,9±0,1	0,8±0,3	0,6±0,2	0,1±0,1
<i>A. ater</i>	58,0±21	14,3±12	6,2±3,0	3,8±1,4	0,8±0,4	1,0±0,3	0,8±0,4	0,2±0,2
<i>P. thaca</i>	65,8±17	7,1±1,8	6,2±1,6	3,2±2,8	0,9±0,3	0,5±0,1	3,1±2,7	0,3±0,3
<i>C. patagonica</i>	53,7±0,1	19,8 ± 3	3,4±0,2	16,9±11	0,2±0,1	0,0±0,0	1,1±0,9	0,2±0,0
<i>L. albus</i>	42,6±39	9,4±5,8	5,6±2,7	4,2±0,1	0,7±0,4	0,9±0,3	0,9±0,3	0,1±0,1

TRATAMIENTO DE DATOS

La información fue ordenada de acuerdo a su localidad de muestreo, especies y concentración de metales. A esta información se aplicó estadística descriptiva de tendencia central para la obtención de promedios, desviación estándar y coeficientes de variación. Se realizó un análisis de concordancia de concentración promedio para los metales y entre las especies en estudio y un análisis de correlación entre los metales estudiados. Se aplicó una ANOVA de dos vías, para relacionar las especies, hábitat y la interacción especie – hábitat. Para el tratamiento de los datos se utilizó un paquete estadístico StatSoft Inc.

RESULTADOS

La concentración promedio de los metales medida en los tejidos de las seis especies estudiadas: *Aulacomya ater* (Molina 1782), *Protothaca thaca* (Molina 1782), *Choromytilus chorus* (Molina 1782), *Mytilus chilensis* (Hupe 1854), *Clamys patagónica* (King & Broderip 1832) y *Loxechinus albus* (Molina 1782), se muestra en la Tabla 3. Las mayores concentraciones medidas en los tejidos, independiente de las especies, correspondieron al Zn, con un valor máximo en *M. chorus* y menor en *L. albus*, y al Ba, con contenidos menores en *Ch. chorus* y *P. thaca* y 2,9 veces mayor en *C. patagonica* (ver Tabla 3).

Se determinó un patrón de abundancia en la concentración de los metales para cada especie, independiente de los valores absolutos. Ejemplos de ello, la concentración de Co en *C. patagonica* fue 11,3 veces mayor que en *M. chilensis*. El contenido de Ni fue 5,2 veces mayor en *P. thaca* que en *Ch. chorus*. El Cd fue 4,5 veces mayor en *Ch. chorus* que en *C. patagonica*.

El análisis de concordancia entre la concentración promedio de metales en el tejido de las seis especies analizadas muestra correspondencia de atributos, entre los resultados múltiples ($w = 0,917$; $p > 0,001$) y un orden similar, independiente de la especie, con el siguiente ranking de abundancia: $Zn > Ba > Cu > Co > Cd > Cr > Ni > Pb$ (ver Tabla 3). Sin embargo, las especies no mantienen un nivel de concentración de metales que permita establecer un patrón de mayor a menor concentración ($w = 0,09$; $p < 0,60$). Por ejemplo, la mayor concentración de Zn se midió *Ch. Chorus*; la de Ba *C. patagonica*, la de Cu en *A. ater* y la de Co en *C. patagonica* (Tabla 4).

Se realizó un análisis de correlación múltiple entre las concentraciones de metales en los tejidos, sin encontrar un r^2 significativo entre los pares. La concentración promedio de metales en las especies por localidad de captura presentó coeficientes de variación altos y heterogeneidad en los resultados (ver Tabla 3).

Los resultados del análisis ANOVA de dos vías, para establecer la importancia entre las especies, hábitat e interacción entre especie – hábitat, mostró que la especie estaría influyendo en todos los casos, el hábitat afectaría las concentraciones de Ba, Cu y Zn y la interacción especie – hábitat afectaría sólo al Zn (Tabla 5).

Se estimó el factor de bioacumulación para los metales Cd, Cu, Pb y Zn, en el tejido blando de los organismos, utilizando las

concentraciones metales en agua informados por Rodríguez & Ahumada (1992) los cuales se muestran en la Tabla 6. La mayor bioacumulación en las especies analizadas, se observó en orden decreciente para: $Cd > Zn > Cu > Pb$.

DISCUSIÓN

En los organismos analizados en el sector costero de Campo de Hielo Sur, la secuencia en el porcentaje de abundancia, para los metales más abundantes, fue semejante: $Zn > Ba > Cu > Co$. Sin embargo, se observó variaciones en la secuencia, cuando las concentraciones de metales en el tejido fueron bajas y con concentraciones semejantes *i.e.*, Cd, Cr, Ni y Pb. Estas variaciones pueden ser atribuidas a la sensibilidad del método analítico, más que a variaciones locales (ver Tabla 3). Como patrón de abundancia de la concentración de los metales promedio en el tejido de los organismos estudiados, se propone: $Zn > Ba > Cu > Co > Cd > Cr > Ni > Pb$ y dado que esta secuencia resultó ser independiente de las diferencias entre las especies analizadas, correspondería a una condición basal.

Si se compara con otras localidades geográficas, la secuencia encontrada es coincidente con la informada por Bryan & Hummertone (1977), para cinco de los seis metales analizados, *i.e.*, $Zn > Cu > Co > Cr > Cd > Ni$; la excepción en la secuencia fue la ubicación del Cd respecto del Cr. Sin embargo, esta secuencia no se cumple para *Mytilus galloprovincialis* que habita en las Rías Gallegas, en que se informa: $Zn > Cu > Pb > Ni > Cr > Co$ (Prego & Cobelo-García 2003). No obstante, en el mismo estudio, se encuentran mayores semejanzas con la secuencia de abundancia de metales mostrada por *Nereis diversicolor* y *Scrobicularia plana i.e.*, $Zn > Cu > Ni > Cr > Pb > Co$.

Tabla 4. Ranking de la concentración promedio de metales ($\mu\text{g g}^{-1}$) para seis especies submareales. (N = 6; grados de libertad = 7; $w = 0,09$; $p < 0,60$; $\text{Chi}^2 = 38,5$).

TABLE 4. Ranking of the average concentration of metals ($\mu\text{g g}^{-1}$) in 6 subtidal species. (N = 6; degrees of freedom = 7, $w = 0.09$, $p < 0.60$, $\text{chi}^2 = 38.5$).

Organismos	Zn	Ba	Cu	Co	Cd	Cr	Ni	Pb
<i>Ch. chorus</i>	87,1±51,5	6,8±5,4	4,6±0,5	2,3±1,7	0,9±0,1	0,8±0,3	0,6±0,2	0,1±0,1
<i>M. chilensis</i>	83,1±34,7	10,8±4,7	5,7±3,0	1,5±1,0	0,9±0,3	0,8±0,4	0,6±0,2	0,7±0,8
<i>P. thaca</i>	65,8±16,6	7,1±1,8	6,2±1,6	3,2±2,8	0,9±0,3	0,5±0,1	3,1±2,7	0,3±0,3
<i>A. ater</i>	58,0±20,6	14,3±12	6,2±3,0	3,8±1,4	0,8±0,4	1,0±0,3	0,8±0,4	0,2±0,2
<i>C. patagonica</i>	53,7±0,1	19,8±3,2	3,4±0,2	16,9±10,8	0,2±0,1	0,0±0,0	1,1±0,9	0,2±0,0
<i>L. albus</i>	42,6±39,4	9,4±5,8	5,6±2,7	4,2±0,1	0,7±0,4	0,9±0,3	0,9±0,3	0,1±0,1

TABLA 5. Resultados del análisis de ANOVA de dos vías N = 105. (Tipo I SS y Tipo II SS; a 95% de confiabilidad).

TABLE 5. Results of the analysis of two-way ANOVA, N = 105. (Type I SS and Type II SS; at 95 % confidence).

	Tipo I SS		Tipo II SS	
Bario	F	Pr > F	F	Pr > F
Especie	6,89	0,0001	12,22	0,0001
Hábitat	72,2	0,0001	37,53	0,0001
Especie - hábitat	6,16	0,0031	6,16	0,0031
Cadmio				
Especie	6,3	0,0001	5,8	0,0001
Hábitat	0,15	0,6955	0,62	0,4321
Especie - hábitat	2,6	0,0794	2,6	0,0794
Cobalto				
Especie	11,93	0,0001	10,37	0,0001
Hábitat	3,02	0,0853	1,1	0,2968
Especie - hábitat	0,63	0,5348	0,63	0,5348
Cromo				
Especie	7,99	0,0001	7,74	0,0001
Hábitat	2,38	0,1265	2,2	0,1414
Especie - hábitat	2,15	0,1221	2,15	0,1221
Cobre				
Especie	1,53	0,1867	2,31	0,05
Hábitat	15,93	0,0001	7,27	0,0083
Especie - hábitat	1,92	0,1527	1,92	0,1527
Níquel				
Especie	5,19	0,0003	4,5	0,001
Hábitat	0,05	0,8312	0,21	0,6515
Especie - hábitat	0,17	0,8418	0,17	0,8418
Plomo				
Especie	14,12	0,0001	13,92	0,0001
Hábitat	1,76	0,188	2,73	0,1015
Especie - hábitat	0,85	0,4326	0,85	0,4326
Zinc				
Especie	18,33	0,0001	23,65	0,0001
Hábitat	0,01	0,9061	39,09	0,0001
Especie - hábitat	96,39	0,0001	96,39	0,0001

Las concentraciones de Ba, Cu y Zn medidas en los organismos mostraron estar afectadas por el hábitat, esto en relación con las concentraciones de referencia de los metales en sedimentos y agua. Los patrones de abundancia para sedimentos en el área, según Ahumada & Contreras (1999), mostrarían al Ba y Zn con las mayores concentraciones. Los sedimentos presentarían un bajo contenido de materia orgánica total (Ahumada *et al.* 1996; Silva *et al.* 2001), textura fina y color verde oliva producto de la erosión glaciaria (Rios & Cisterna 1998). Por otra parte, la concentración de metales en agua según Rodríguez & Ahumada (1996) mostrarían una secuencia de concentración en orden decreciente de $Zn > Ba > Pb > Cd$. Esto confirma nuevamente las elevadas concentraciones de Zn y Ba medidas en los organismos que habitan esta área. Los valores absolutos de concentración al analizar cada metal, mostraron variaciones entre las diferentes especies, lo que indicaría que individualmente los organismos presentan capacidades diferentes de bioacumulación (ver Tabla 6). Del mismo modo, el análisis de regresión múltiple de las concentraciones de los metales en los tejidos de los organismos, indican que la biología (*i.e.* especie) es un importante factor a considerar.

El factor de bioacumulación (FB) estimado para las distintas especies estudiadas presenta diferencias importantes en cuanto a la secuencia de metales (ver Tabla 6). Al FB, considerando la magnitud de bioacumulación, le correspondería una secuencia: $Cd > Zn > Cu > Pb$. Esta secuencia es parecida a la encontrada en organismos que habitan en la Bahía San Vicente, en que la relación para los mismos metales sería $Cd \gg Zn > Pb > Cu$ (Ahumada 1994).

Los organismos, independientes de la especie y localidad, presentaron una alta concentración de Zn, lo que de acuerdo al ANOVA puede ser explicada por el hábitat (localidad). El

Zn es un metal que se encuentra en concentraciones mayores en los sedimentos de esta región, con valores promedios de línea base de $102,5 \mu\text{g g}^{-1}$ (Ahumada & Contreras, 1999). Este metal es esencial para la vida de los organismos, ya que es un constituyente en más de 200 metalo-enzimas y otros compuestos metabólicos, además estabiliza biológicamente moléculas de ADN y otras estructuras componentes de las membranas celulares (Viarengo & Nicotera 1991). Algunos metales, dado su similitud, pueden ser reemplazados por otros metales, como es caso del par $Ca^{+2} - Cd^{+2}$ (Viarengo 1989; Viarengo & Nicotera 1991) o bien, es posible que se establezca una competencia por los enlaces de ligandos orgánicos siguiendo la serie propuesta por Irvi-Williams (Rainbow 1997): Ni^{+2} , Pb^{+2} , Ba^{+2} y Zn^{+2} (Waldichuk 1974). Las concentraciones de Cu, Pb y Zn en los tejidos fueron bajas, indicando que su lugar de origen no presenta alteración ambiental. La excepción podría ser el Cd, que presentó una concentración de $0,9 (\mu\text{g g}^{-1})$ y que estaría asociado al enriquecimiento de las AESS que alcanzan la región (Sievert & Silva 2006). Sin embargo, estos valores se pueden comparar con los organismos de las Rías Gallegas, indicándose como sitio no alterado (Prego & Cobelo-García 2003).

Finalmente, a modo de comparación se presenta las concentraciones de metales medidas con la misma metodología, en bivalvos del inter y sub mareal, para la Bahía San Vicente (Tabla 7). Las diferencias del sector costero de Campos de Hielo Sur con Bahía San Vicente ($36^{\circ} 44' S$; $73^{\circ} 10' W$) es que esta última recibe un importante entrada de metales por fuentes antrópicas (concentraciones 1,3 veces mayor), con evidentes diferencias en el contenido de metales en tejidos de los organismos filtradores, con la sola excepción del cromo. Las mayores diferencias de concentración en los organismos se observan para Cd y Ni, con excepción de *Prototaca taca* para Ni.

TABLA 6. Valores de bioacumulación de los metales estudiados, estimados para las especies recolectadas en la zona costera de Campos de Hielos Sur.

TABLE 6. Bioaccumulation values for metals, estimates from the collected species in the coastal area of the Southern Ice Fields.

ESPECIE	Cd	Cu	Pb	Zn
<i>M. chilensis</i>	$1,5 \times 10^4$	$7,7 \times 10^2$	$2,8 \times 10^2$	$8,6 \times 10^3$
<i>Ch. chorus</i>	$1,5 \times 10^4$	$6,2 \times 10^2$	$3,9 \times 10^1$	$9,0 \times 10^3$
<i>A. ater</i>	$5,5 \times 10^4$	$8,4 \times 10^2$	$7,9 \times 10^1$	$6,0 \times 10^3$
<i>C. patagonica</i>	$3,3 \times 10^3$	$4,6 \times 10^2$	$7,9 \times 10^1$	$5,5 \times 10^3$
<i>P. thaca</i>	$1,5 \times 10^4$	$8,4 \times 10^2$	$1,2 \times 10^2$	$6,8 \times 10^3$
<i>L. albus</i>	$1,2 \times 10^4$	$7,6 \times 10^2$	$3,9 \times 10^1$	$4,4 \times 10^3$

TABLA 7. Contenido de metales totales ($\mu\text{g g}^{-1}$) en organismos recolectados en distintas áreas geográficas: Bahía San Vicente (Sn Vic) y en Campos de Hielo Sur (CHS) (Tomado de Ahumada 1994; Ahumada y Vargas 2004).TABLE 7. Total metal content ($\mu\text{g g}^{-1}$) at organisms collected in different localities: Bahía San Vicente (Sn Vic) and Southern Ice Fields (CHS) (After Ahumada 1994; Ahumada & Vargas 2004).

Metales	Localidades geográficas							
	Sn Vic	Sn Vic	Sn Vic	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS
	<i>T. dombeii</i>	<i>Ch. chorus</i>	<i>G. ovatus</i>	<i>Ch. chorus</i>	<i>A. ater</i>	<i>M. chilensis</i>	<i>P. thaca</i>	<i>C. patagónica</i>
Cd	3,5	1,9	7,6	0,9±0,1	0,8±0,4	0,9±0,3	0,9±0,3	0,2±0,1
Cr	0,3	0,1	3,3	0,8±0,3	1,0±0,3	0,8±0,4	0,5±0,1	VND
Cu	8,3	13,0	13,0	4,6±0,5	6,2±3,0	5,7±3,0	6,2±1,6	3,4±0,2
Ni	4,9	4,4	4,8	0,6±0,2	0,8±0,4	0,6±0,2	3,1±2,7	1,1±0,9
Pb	0,5	1,0	0,5	0,1±0,1	0,2±0,2	0,7±0,7	0,3±0,3	0,2±0,0
Zn	196,7	75,0	70,0	87,1±52	58,0±21	83,1±35	65,8±17	53,7±0,1

VND = Valor no determinado.

VND = Value not determined

CONCLUSIONES

El patrón de abundancia de la concentración de metales en los tejidos blandos de la mayoría de los organismos estudiados en el sector costero de Campos de Hielo Sur sería: $\text{Zn} > \text{Ba} > \text{Cu} > \text{Co} > \text{Cd} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Pb}$, diferente del informado para los sedimentos del área.

Los factores de bioacumulación (FB) para la concentración de metales en los tejidos mostraron tendencia a la bioacumulación de Zn y Cu.

El Zn fue el metal con mayor concentración y variabilidad en los organismos, lo que tendría directa relación con el hábitat (localidad).

La concentración de los ocho metales (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) analizados en el tejido de los organismos de las seis especies analizadas y sedimento, presentaron el mismo orden de magnitud. Esto podría deberse a que en este sistema hay escasas sustancias absorbentes, por tratarse de un sistema no alterado, con bajo contenido de material orgánico.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Hacienda y Comité Oceanográfico Nacional (CONA-Chile) por el financiamiento de esta investigación; el segundo autor agradece el apoyo del proyecto CONICYT PAI N° 7813110001. Esta es una contribución al Proyecto CIMAR2 FIORDO asignado al Dr. Ramón Ahumada B. Se agradece a la Dirección de Investigación de la Universidad

Católica de la Santísima Concepción; a Claudio Pérez y Sergio Contreras que participaron en la recolección de muestras durante el Crucero. Se agradece también al Comandante, tripulación y buzos que dieron el apoyo logístico al proyecto. Finalmente deseamos a través de este trabajo hacer un reconocimiento al maestro: Profesor Hugo Iván Moyano (QEPD), recientemente fallecido en Concepción.

BIBLIOGRAFÍA

- AHUMADA, R. 1994. Nivel de concentración y bioacumulación de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Pb y Zn) en tejidos de organismos bénticos de Bahía San Vicente. *Revista de Biología Marina, Valparaíso* 29(1):2-18.
- AHUMADA R., RUDOLPH, A. & SILVA, N. 1996. Contenido de carbono total, carbono orgánico, carbono inorgánico, nitrógeno orgánico y fósforo total, en los sedimentos de los fiordos de Campos de Hielo Sur. *Revista de Ciencia y Tecnología del Mar* 19:125-134.
- AHUMADA, R. 1998. Metales traza (Ba, Cd, Co, Cr, Ni, Pb, V y Zn) en los sedimentos del Seno Aysén: Línea Base y alteraciones ambientales. *Revista de Ciencia y Tecnología del Mar* 21:73-86.
- AHUMADA, R. & CONTRERAS, S. 1999. Contenido de metales (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr, V y Zn) en sedimentos de los fiordos adyacentes a Campo de Hielo Sur y Canal Concepción. *Revista de Ciencia y Tecnología del Mar* 22:24-41.
- AHUMADA, R. & VARGAS, J. 2004. Sedimentation Rate of Trace Metals in San Vicente Bay, Chile. *Environmental Monitoring and Assessment* 100:11-27.
- AHUMADA, R., GERLI, L., SÁNCHEZ, I. & FERNÁNDEZ, E. 2006. Metales traza en aguas costeras y organismos de canales y fiordos

- australes. En: Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos (Eds Silva, N. & Palma, S.), pp. 45-49. Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso.
- ARAYA-VERGARA, J.F. 1999. Perfiles longitudinales de fiordos de Patagonia Central. *Revista de Ciencia y Tecnología del Mar* 22:3-23.
- BOSS, CH.B. & FREDEN, K.J. 1999. Concepts, instrumentation and techniques in inductively coupled plasma optical emission spectrometry. 2da Ed., Perkin Elmer, U.S.A. pp.
- BRYAN, G. & HUMMERTONE, L. 1977. Bioaccumulation of 12 elements in the tissues of *Nautilus nautilus macrophalus* from New Caledonia. *Marine Pollution Bulletin* 40(8):668-696.
- CASTILLO, A. & VALDÉS, J. CALDERÓN, C. & VALDÉS J. 2012. Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 47:121-133.
- CASTILLO, A. & VALDÉS, J. 2011. Contenido de metales en *Cancer polyodon* (Crustacea: Decapoda) en un sistema de bahías del norte de Chile (27°S). *Latino American Journal of Aquatic Research* 39:461-470.
- CASTRO, G. & VALDÉS, J. 2012. Concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd y Pb) en la biota y sedimentos de una playa artificial, en la bahía San Jorge (23°S), norte de Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research* 40:267-281.
- CLAPPERTON, C.M. 1994. The quaternary glaciation of Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 67:369-387.
- DÍAZ, O., ENCINA, F., CHUECAS, L., BECERRA, J., CABELLO, J., FIGUEROA, A. & MUÑOZ, F. 2001. Influencia de variables estacionales, espaciales, biológicas y ambientales en la bioacumulación de mercurio total y metilmercurio en *Taguelus dombeii*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 36:15-29.
- GONZÁLEZ, E., RETAMAL, M., MEDINA, V. & AHUMADA, R. 2009. Enriquecimiento, disponibilidad y contaminación de metales traza (Cd, Cu, Pb y Zn) en sedimentos de lagunas urbanas de Concepción-Chile. *Química Nova* 32(4):902-907.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL CANADA 1996. http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/solutions/advisory/crm/inorganic/list_products.html Accedido: 04 abril de 2006.
- PREGO, R. & COBELO-GARCÍA, A. 2003. Twentieth century overview of heavy metals in Galician Rias (NW Iberian Peninsula). *Environmental Pollution* 121:425-452.
- RAINBOW, P.S. 1997. Trace metal accumulation in marine invertebrates: Marine biology or marine chemistry?. *Journal Marine Biological Association. U.K.* 77:195-210.
- RÍOS, F. & CISTERNAS, M. 1998. Uso de parámetros sedimentológicos en el reconocimiento de ambientes hidrodinámicos en los canales y fiordos adyacentes a "Campos de Hielo Sur". *Investigaciones Marinas* 26:21-30.
- RODRIGUEZ, V. & AHUMADA, R. 1995. Metales disueltos determinados por Voltametría de redisolución anódica. Informe de Datos no publicados. Comité Oceanográfico Nacional. Resultados de la Campaña CIMAR FIORDO.
- RUDOLPH, A., NOVOA, V., AHUMADA, R., SÁEZ, K., & SILVA, N. 2014. Calidad de los sedimentos marinos entre el Estrecho de Magallanes y el Cabo de Hornos (Patagonia chilena), en función de pruebas toxicidad. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 49(1):7-16.
- RUDOLPH, A., NOVOA, V. & AHUMADA, R. 2012. Evaluación de la calidad de los sedimentos en la zona de fiordos de Campos de Hielo Sur (Bahía San Quintín - CANAL WIDE) (46° 50' - 49° 58' S). *Revista de Ciencia y Tecnología Mar* 35:19-31.
- SIEVER, H. & SILVA, N. 2006. Masas de agua y circulación en los canales y fiordos australes. Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso. 162 pp.
- SILVA, N. & PALMA, S. 2006. Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos. En: Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos (Eds. Silva, N. & S. Palma), pp. 53-58. Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso.
- SILVA N., DE VIDTS, V. & SEPÚLVEDA, J. 2001. Materia orgánica, C y N, su distribución y estequiometría en sedimentos superficiales de la región central de los fiordos y canales australes de Chile (Crucero CIMAR-FIORDO 2). *Revista de Ciencia y Tecnología del Mar* 24:23-40.
- StatSoft Inc. 2009. *Statistica* (data analysis software system). www.Statsoft.com
- VALDÉS, J., GUIÑEZ, M., CASTILLO, A. & VEGA, S.E. 2014. Cu, Pb, and Zn content in sediments and benthic organisms from San Jorge Bay (northern Chile): Accumulation and biotransference in subtidal coastal systems. *Ciencias Marinas* 40(1):45-58.
- VIARENGO, A. & NICOTERA, P. 1991. Possible rol of Ca in heavy metal cytotoxicity. *Comparative Biochemical Physiology* 100 (1/2):81-84.
- VIARENGO, A. 1989. Heavy metals in marine invertebrates: mechanisms of regulation and toxicity at cellular level *Aquatic Sciences* 1(2):295-317.
- WALDICHUK, M. 1974. Some biological concepts in heavy metals pollution. In: *Pollution and physiology of marine organism*. New York. 492p.

Recibido: 07.11.14
 Aceptado: 14.08.15