

Concentración de metales pesados en almeja roñosa *Chione californiensis* (Broderip) en la porción norte de Bahía Magdalena

Lia Méndez-Rodríguez, Susan C. Gardner, Baudilio Acosta-Vargas,
Nadia López-Esquerr, Sergio Ticul Álvarez-Castañeda

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Mar Bermejo 195, Col. Playa Palo
de Santa Rita. AP. 128, La Paz, 23090, Baja California Sur

RESUMEN: Se estimaron las concentraciones de 7 metales en la almeja roñosa, *Chione californiensis* (Broderip) recolectadas antes y después de la temporada de lluvia, en la parte norte de Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Las concentraciones de Pb, Cu, Fe, Mn, Cd y Zn se encontraron dentro del intervalo de concentraciones previamente informadas en estudios realizados en diferentes regiones del mundo. Sin embargo, las concentraciones máximas de Ni ($25.7 \mu\text{g g}^{-1}$) fueron significativamente más elevadas en comparación a las registradas en bivalvos de ambientes no perturbados. La precipitación fluvial en la época de lluvia aparentemente tuvo un efecto significativo en la bioacumulación de algunos metales, debido a que después de la temporada de lluvia se incrementaron las concentraciones de Pb y Ni en las almejas, mientras que las concentraciones de Mn disminuyeron de manera significativa. Bahía Magdalena se encuentra influenciada principalmente por aportes terrígenos durante la época de lluvias, así como por corrientes de mareas cerca de su entrada principal, aunque una pequeña área de esta zona puede también estar afectada por las actividades antropogénicas del poblado aún relativamente pequeño de Puerto San Carlos.

PALABRAS CLAVE: *Chione californiensis* · Metales pesados · Bioacumulación · Contaminación · Bahía Magdalena

ABSTRACT: Metal concentrations were estimated in roñosa clams *Chione californiensis* (Broderip) collected after and before the rainy season in the northern part of Bahía Magdalena, Baja California Sur, Mexico. Concentrations of Pb, Cu, Fe, Mn, and Zn were within the range of those reported in other bays around the world. However, the maximum concentrations of Ni ($25.7 \mu\text{g g}^{-1}$) were comparatively higher than previous measurement of bivalves from unperturbed environments. Apparently, the rainy season had a significant effect on the bioaccumulation of some metals with significant increased levels of Pb and Ni, but significant decreased levels of Mn in the clams after the rain season. Bahía Magdalena is probably affected by terrestrial inlets during the rainy season and by tidal marine currents in its main entrance. However, a small area of the bay may be influenced by anthropogenic activities from the so far relatively small population of Puerto San Carlos.

KEY WORDS: *Chione californiensis* · Heavy metals · Bioaccumulation · Pollution · Bahía Magdalena

INTRODUCCIÓN

Baja California Sur reúne características litorales, hidrográficas, climáticas y geológicas que han permitido el desarrollo de diversas actividades económicas como la de el transporte marítimo, turístico, agrícola y minero (Consejo de Recursos Mineros 1999). Éstas, como cualquier otra actividad antropogénica, pueden introducir distintos tipos de material alóctono en el ambiente que pueden, en ocasiones, alcanzar niveles que excedan las concentraciones naturales causando efectos adversos

directos e indirectos en el ecosistema, siendo entonces considerados contaminantes tóxicos (Albert 1998).

Bahía Magdalena han sido considerada como una de las bahías socio-económicamente más notables del noroeste Mexicano, por su considerable extensión y elevada productividad que la ha convertido en el centro de varias pesquerías importantes para la región (Morales-Zárate 2006). Aunque actualmente una gran extensión de este complejo lagunar aún no esta rodeada por poblaciones humanas (aunque las actividades de pesca, navegación marítima comercial y ecoturismo tienen una

amplia cobertura en el sistema lagunar), el Puerto San Carlos con aproximadamente 4,716 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática 2006), puede representar un factor de perturbación ambiental. Actualmente no existen actividades mineras importantes pero la presencia de yacimientos submarinos de fosforita ha sido previamente documentada (Consejo de Recursos Mineros 1999). Este mineral, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_{2-3}$, generalmente se caracteriza por un alto contenido de fósforo estimado entre 15 y 20 % (expresado como P_2O_5), además de contener en su estructura Ag, Cd, Mo, Se, Sr, U, Yu, Zn y lantánidos (Boggs 1995). Rodríguez-Meza (2005) realizó una caracterización de distribución de elementos, identificando una moderada concentración de Fe, Hf, Er e Yb; una elevada concentración de Ca, Pb, As, Th, U, Pr, Sm, Gd y Dy; así como una inusualmente elevada concentración por Cd, Rb, Sr, Ba, Sc, Cr, Co, Cu, Ni, Zn, Zr, La, Ce y Nd de origen no identificado en el sistema costero de la península de Baja California mediante el índice de Muller (1979). Ella consideró que el origen de todos estos elementos son probablemente de origen natural debido a la escasa actividad antropogénica en la región, aunque es necesario destacar que estas concentraciones son considerablemente mayores que las registradas en otros lugares poco impactados por actividades antropogénicas. Sin embargo, altas concentraciones de elementos químicos en el ambiente no necesariamente significa que también la biota presente en ese habitat también posea comparativamente altas concentraciones de estos elementos en su biomasa, ya que su biodisponibilidad y bioacumulación dependerá de varios factores como su estructura química, pH, salinidad y temperatura del medio entre otros (Riley 1989). De igual forma hay que considerar el mecanismo de alimentación (filtrado vs depredador), tasas de ingestión, fisiología de la especie, longevidad del organismo o el nivel trófico entre otros factores relevantes.

Varias especies de almejas del género *Chione* han sido frecuentemente utilizadas como bioindicadores de contaminación antropogénica, como es: *Chione cancellata* (Linnaeus) que ha sido considerada como bioindicador de los efectos ecológicos negativos causados por la introducción de aguas negras (McNulty 1961), *Chione californiensis* (Broderip) de la presencia de insecticidas como el Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT) (Núñez 1975) y de hidrocarburos clorados (Gutiérrez-Galindo et al. 1988); así como *Chione stutchburyi* (Wood) de Pb (Purchase & Ferguson 1986). Hasta la fecha no existe información publicada en Bahía Magdalena que nos indique cuales son los niveles de concentración de metales pesados en prácticamente ningún componente biótico de este ecosistema.

Debido a las posibles implicaciones que estos elementos pueden tener en la salud y el balance de los sistemas biológicos, en las actividades productivas, así como el potencial impacto del inminente desarrollo de actividades económicas que se esperan que ocurran en un futuro en Baja California Sur por el proyecto de la Escalera Náutica, es necesario reunir información relacionada con los niveles de metales pesados actuales que sirvan como nivel

base para futuras comparaciones una vez que se intensifique la actividad económica y productiva en el sistema lagunar de Bahía Magdalena.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de muestreo y determinación de metales pesados

Se realizaron recolecciones de la almeja roñosa *Chione californiensis* en 10 sitios localizados en la parte norte de Bahía Magdalena, los cuales fueron geo-posicionados con un GPS Magellan modelo 315 (Fig. 1). En cada sitio se recolectaron 10 almejas de talla similar (7.8 cm, \pm 3 cm) antes de la época de lluvia (junio) y después de la temporada de lluvias (noviembre) de 2004.

El tejido blando de cada organismo fue retirado de la concha y lavado con agua desionizada para eliminar sedimentos adheridos a ellos y restos de sales del agua marina. Cada muestra fue secada en un horno a 70 °C (Estufa Marca Precisión) por 36 h hasta registrar peso constante. Posteriormente, las muestras fueron pulverizadas en un mortero de ágata para evitar contaminación con metales y después éstas fueron homogenizadas (Van Loon 1985). De cada almeja se obtuvo una cantidad entre 0.5 y 0.7 g de tejido, la cual fue digerida con ácido nítrico concentrado a 70 °C por 4 h utilizando tubos de teflón en un horno de microondas (CEM modelo Mars 5', Matthews, NC). Finalmente se le agregó a cada muestra de almeja 1 ml de HCL concentrado y se aforaron a 25 ml en un matraz volumétrico con agua desionizada (Méndez et al. 2002). El contenido de Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn de cada muestra fue analizada mediante un espectrofotómetro de absorción atómica (GBS Scientific model AVANTA, Dandenong, Australia) usando una llama del aire/acetileno. Los análisis fueron validados mediante el uso de estándares de referencia certificados por el National Research Council of Canadá (DORM-II y TORT II). Se

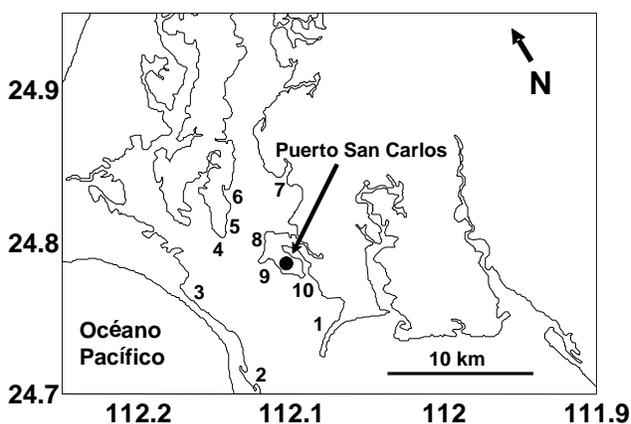


Fig. 1. Localización de las estaciones de muestreo en la parte norte de Bahía Magdalena, B.C.S., México

utilizó el estándar TORT2 que contenía en $\mu\text{g g}^{-1}$ Cd: 26.7 ± 0.6 , Cu: 100 ± 10 , Fe: 105 ± 13 , Pb: 0.35 ± 0.13 , Mn: 13.6 ± 1.2 , Ni: 2.50 ± 0.19 y Zn: 180 ± 6 .

La recuperación de los metales del tejido de las almejas fue aproximadamente 95 %, por lo que puede haber un error de hasta el 5 % en las estimaciones de las concentraciones informadas en el presente estudio. La concentración de cada elemento se expreso en relación al peso seco del organismo ($\mu\text{g g}^{-1}$).

Análisis de datos

Con el fin de detectar y evaluar posibles diferencias significativas de las concentraciones de metales pesados en las almejas entre sitios de recolección se realizaron análisis estadísticos tipo ANOVA de una vía utilizando una prueba a posteriori de Newman-Keuls para comparar las medias individuales (Downie & Heath 1986). Para definir si existían diferencias significativas en la concentración de metales en almejas, antes y después de la época de lluvia se utilizó una comparación de medias no pareadas (t-student). Los análisis estadísticos se efectuaron mediante el programa STATISTICA versión 5.0 para Windows.

RESULTADOS

La magnitud de la concentración estimada del metal bioacumulado en las almejas varió considerablemente para cada elemento. El Fe presentó las mayores concentraciones seguido por Zn, Ni, Cu, Mn, Cd y Pb (en orden decreciente en concentración por peso seco), existiendo entre Fe y Pb más de dos órdenes de magnitud en la variabilidad de las concentraciones registradas en los organismos analizados (Tabla 1).

Estimación de metales pesados en función a la época de lluvias

La concentración de metales de todos los organismos analizados variaron significativamente entre las estaciones monitoreadas antes de la época de lluvia ($p < 0.001$, Tabla 2). Varias muestras de almejas tuvieron niveles de Pb por debajo del límite de detección y en los sitios donde fueron detectables estuvieron por debajo de la concentración estipulada por la norma NOM-031-SSA-1993 (Secretaría de Salud 1993).

Las concentraciones de metales en función del peso seco de las almejas en el norte de Bahía Magdalena, recolectadas después de la época de lluvia variaron significativamente de una estación a otra ($p < 0.001$, Tabla 3).

De acuerdo con las estimaciones de las concentraciones de metales en almejas no existieron diferencias significativas en la concentración promedio de Cd, Cu, Fe, y Zn antes y después de la época de lluvias (Tabla 3). Se registró un incremento significativo en los niveles de Pb y Ni después de la época de lluvias ($p < 0.001$), mientras que los niveles de Mn disminuyeron significativamente después de la época de lluvias ($p < 0.001$, Tabla 4).

DISCUSIÓN

Con excepción de la estación 9 ($24^{\circ} 49.55'$, $112^{\circ} 08.43'$) que se encuentra enfrente del poblado de Puerto San Carlos, la zona norte de Bahía Magdalena objeto de este estudio, tiene una relativamente escasa actividad humana, por lo que las concentraciones de metales pesados registradas en los organismos son aparentemente de origen natural, siendo afectadas posiblemente únicamente por las corrientes de marea y el aporte

Tabla 1. Concentración promedio de los muestreos y error estándar de metales pesados $\mu\text{g g}^{-1}$ en almejas de 10 diferentes sitios en Bahía Magdalena, B. C. S., México. Las diferencias significativas ($p < 0.05$) son consideradas con letras distintas

Estación	Cd	Cu	Pb	Ni	Mn	Fe	Zn
1	0.63 ± 0.18^a	6.15 ± 0.64^a	0.14 ± 0.14^a	11.4 ± 2.1^{abc}	1.53 ± 0.75^a	240 ± 20^{ab}	75.6 ± 6.4^{ab}
2	1.64 ± 0.33^a	5.76 ± 1.09^a	0.20 ± 0.10^a	14.2 ± 2.1^{ac}	2.97 ± 0.98^a	304 ± 31^{ab}	71.4 ± 5.4^{ab}
3	4.58 ± 0.50^b	5.68 ± 0.93^a	0.02 ± 0.02^a	11.2 ± 1.2^{abc}	2.60 ± 1.42^a	264 ± 24^{ab}	46.7 ± 3.8^a
4	2.19 ± 0.47^a	4.06 ± 0.57^a	0.09 ± 0.06^a	6.5 ± 1.3^{ab}	3.08 ± 1.12^a	285 ± 12^{ab}	72.3 ± 4.8^{ab}
5	3.98 ± 0.45^b	6.39 ± 1.50^a	0.19 ± 0.08^a	11.5 ± 2.3^{abc}	4.14 ± 1.00^a	240 ± 25^{ab}	59.1 ± 3.9^{ab}
6	1.27 ± 0.22^a	10.70 ± 1.5^b	0.22 ± 0.13^a	17.9 ± 4.0^c	4.11 ± 0.81^a	354 ± 46^a	68.7 ± 7.1^{ab}
7	0.65 ± 0.22^a	4.40 ± 0.89^a	1.12 ± 0.42^b	8.6 ± 1.3^{ab}	3.34 ± 0.91^a	345 ± 24^a	67.3 ± 5.9^{ab}
8	1.18 ± 0.26^a	7.46 ± 1.16^a	0.63 ± 0.22^a	8.6 ± 0.9^{ab}	4.87 ± 1.15^a	289 ± 27^{ab}	72.0 ± 7.4^{ab}
9	5.17 ± 0.59^b	5.08 ± 1.30^a	0.04 ± 0.03^a	4.7 ± 0.9^a	4.21 ± 0.83^a	225 ± 17^b	59.4 ± 4.3^{ab}
10	2.14 ± 0.48^a	5.65 ± 0.99^a	0.27 ± 0.12^a	11.9 ± 2.1^{abc}	5.39 ± 0.92^a	315 ± 25^{ab}	85.8 ± 14.8^b
Total	2.34 ± 0.52	6.13 ± 1.15	0.29 ± 0.18	10.67 ± 2.12	3.62 ± 1.01	286 ± 28	67.8 ± 7.3

Tabla 2. Concentración de metales pesados $\mu\text{g g}^{-1}$ en almejas *Chione californiensis* en junio del 2004, antes de la época de lluvia en Bahía Magdalena, B. C. S., México. Las diferencias significativas ($p < 0.05$) son consideradas con letras distintas

Estación	Cd	Cu	Pb	Ni	Mn	Fe	Zn
1	< 0.04 ^a	7.73±0.92 ^a	< 0.01 ^a	8.19±3.63 ^a	0.55±0.55 ^a	213±34.05 ^a	61.3±8.4 ^a
2	1.23±0.30 ^a	5.51±1.21 ^a	< 0.01 ^a	9.35±0.96 ^a	2.5±1.05 ^{ab}	251±13.94 ^a	64.1±3.6 ^a
3	4.81±0.72 ^{bc}	6.41±1.76 ^a	< 0.01 ^a	8.48±1.45 ^a	1.7±0.68 ^{ab}	258±33.88 ^a	46.7±5.5 ^a
4	3.97±0.44 ^{bc}	3.98±1.04 ^a	< 0.01 ^a	2.37±0.64 ^a	6.2±1.8 ^b	310±18.21 ^a	53.4±2.8 ^a
5	3.36±0.59 ^b	8.54±2.52 ^a	< 0.01 ^a	5.04±0.63 ^a	6.4±1.6 ^b	213±31.60 ^a	56.3±3.2 ^a
6	1.06±0.32 ^a	15.3±2.1 ^b	< 0.01 ^a	10.14±3.50 ^a	4.4±1.09 ^{ab}	341±73.37 ^a	63.5±9.7 ^a
7	0.30±0.21 ^a	3.04±0.69 ^a	< 0.01 ^a	5.80±1.31 ^a	5.0±1.3 ^{ab}	320±27.30 ^a	60.4±3.5 ^a
8	0.89±0.29 ^a	5.45±1.38 ^a	0.33±0.29 ^a	9.76±1.15 ^a	6.7±2.2 ^b	327±52.31 ^a	74.1±14.6 ^a
9	5.43±0.98 ^c	6.43±2.52 ^a	0.03±0.03 ^a	2.64±0.65 ^a	4.4±1.7 ^{ab}	255±28.81 ^a	56.2±8.2 ^a
10	1.14±0.29 ^a	4.86±1.04 ^a	0.38±0.23 ^a	6.95±0.85 ^a	7.6±1.5 ^b	235±23.76 ^a	102±29.0 ^b
Total	2.21± 0.76	6.73±1.88	0.07±0.12	6.87±1.93	4.5±1.5	272±44	63±12

Tabla 3. Concentración de metales pesados $\mu\text{g g}^{-1}$ en almejas *Chione californiensis* en noviembre del 2004, después de la época de lluvia en Bahía Magdalena, B. C. S., México. Las diferencias significativas ($p < 0.05$) fueron consideradas con letras distintas; ND = por debajo del límite de detección

Sitio	Cd	Cu	Pb	Ni	Mn	Fe	Zn
1	1.27±0.22 ^{ac}	4.57±0.56 ^a	0.28±0.28 ^a	14.69±1.53 ^{ab}	2.52±1.35 ^a	268±20.1 ^{ab}	89.95±7.53 ^a
2	2.04±0.59 ^{ac}	6.01±1.89 ^a	0.39±0.18 ^a	19.10±3.45 ^{ab}	3.42±1.70 ^a	357±58.2 ^a	78.69±9.86 ^a
3	4.35±0.72 ^b	4.96±0.68 ^a	0.05±0.05 ^a	13.84±1.63 ^{ab}	3.45±2.80 ^a	269±37.3 ^{ab}	46.73±5.51 ^b
4	0.42±0.16 ^c	4.14±0.52 ^a	0.17±0.12 ^a	10.65±1.63 ^b	ND	259±12.5 ^{ab}	91.26±3.39 ^a
5	4.61±0.66 ^b	4.24±1.47 ^a	0.39±0.13 ^a	17.94±3.55 ^{ab}	1.91±0.84 ^a	267±40.9 ^{ab}	61.84±7.36 ^{ab}
6	1.49±0.29 ^{ac}	6.05±0.96 ^a	0.44±0.24 ^a	25.73±6.48 ^a	3.83±1.26 ^a	366±60.9 ^a	73.93±10.54 ^{ab}
7	1.01±0.37 ^{ac}	5.75±1.57 ^a	2.24±0.68 ^b	11.38±2.00 ^b	6.30±5.15 ^a	370±40.0 ^a	74.13±11.27 ^{ab}
8	1.47±0.43 ^{ac}	9.48±1.70 ^a	0.93±0.31 ^a	7.50±1.35 ^b	3.07±0.35 ^a	251±14.7 ^{ab}	69.87±3.70 ^{ab}
9	4.92±0.68 ^b	3.73±0.60 ^a	0.06±0.06 ^a	6.82±1.46 ^b	4.00±0.40 ^a	195±16.0 ^b	62.50±2.87 ^{ab}
10	3.15±0.82 ^{ab}	6.44±1.70 ^a	0.15±0.08 ^a	16.97±3.24 ^{ab}	3.18±0.35 ^a	395±27.0 ^a	69.46±4.47 ^{ab}
Total	2.47±0.72	5.53±1.32	0.51±0.33	14.46±3.38	2.70±2.01 ^a	299±40.4	71.8±8.0

terígeno (Otchere 2003). Estos metales pueden ser deslavados y transportados por los arroyos durante la época de lluvias (generalmente entre septiembre y octubre), dado que los arroyos temporales pasan por sitios con formaciones geológicas como la fosforita que es rica en metales traza (Gnandi & Tobschall 1999). La dispersión de los metales pesados en el ambiente marino depende del tamaño de la partícula a la que se encuentran asociados y de la dirección y velocidad de las corrientes, para que estas partículas trasportadas de un sitio a otro de un ambiente marino como en Bahía Magdalena la influencia de las corrientes de mareas tiene un papel importante (Sánchez-Montante 2004).

Aunque la concentración de metales pesados en las almejas fueron considerados dentro del intervalo estándar para cada uno de estos elementos, que son típicos de áreas

naturales sin impacto humano (Nauen 1983, Bat et al. 1999, Méndez et al. 2002, Yap et al. 2004), se observaron diferencias significativas en la concentración de metales en tejido de almejas recolectadas entre estaciones y en las muestras obtenidas antes y después de la época de lluvias (Tablas 2–4). Es notable que en algunos sitios disminuya el contenido de Cu, Ni, Fe y aumente en la concentración de Pb, Mn y Fe después del período de lluvias. Estos resultados pueden deberse a que cerca de las estaciones 6, 7 y 8 se encuentra la desembocadura del arroyo Las Bramonas que pasa por un yacimiento de fosforita (Fig. 1) (Consejo de Recursos Mineros 1999). Es relevante mencionar que en Baja California Sur se encuentra uno de los dos depósitos más grandes del mundo de fosforita, estando el otro en Africa occidental (Riley 1989).

Tabla 4. Pruebas *t* de Student entre medias de metales pesados antes y después de la época de lluvia en almejas del norte de Bahía Magdalena, B. C. S., México. (*) Las diferencias son significativas a $\alpha < 0.05$. 1 = antes; 2 = después de la temporada de lluvia

Elemento	Media ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Desviación estandard ($\mu\text{g g}^{-1}$)	<i>t</i>	p
Cd (1)	2.22	2.40		
Cd (2)	2.47	2.26	-0.994	0.323
Cu (1)	6.73	5.96		
Cu (2)	5.536	4.16	1.551	0.124
Pb (1)	0.074	0.386		
Pb (2)	0.511 *	1.048	-3.828	0.001
Ni (1)	6.87	6.14		
Ni (2)	14.46 *	10.69	-6.208	0.001
Mn (1)	4.55 *	4.83		
Mn (2)	2.70	4.04	2.801	0.006
Fe (1)	272	122		
Fe (2)	300	128	-1.566	0.121
Zn (1)	63.83	38.1		
Zn (2)	71.83	25.34	-1.859	0.066

Otra posible explicación para entender las diferencias en el contenido de metales en las almejas antes y después de la época de lluvias es la actividad reproductiva de ésta especie que ha sido registrada a lo largo de casi todo el año (García-Domínguez 1991). Algunos metales son elementos esenciales que pueden transferirse y acumularse activamente en la gónada (Méndez et al. 2001). Cuando las almejas desovan, algunos de los metales contenidos en la gónada pueden ser transferidos a las larvas que se distribuyen en su fase planctónica a lo largo de la columna de agua. Swaileh (1996) informó sobre incrementos en las concentraciones de Cu y Zn en tejido durante la época de desove del bivalvo *Arctica islandica* (Linnaeus). Además, el proceso de desove reduce significativamente el peso de la gónada modificando por ende el peso total del organismo. Por lo tanto, en este estudio posiblemente se estimaron concentraciones más bajas de metales principalmente en animales recién desovados, y niveles más altos de los metales en organismos en maduración previa al desove. Por ejemplo, el Cu probablemente se transfiere a las larvas (Méndez et al. 2001) porque forma parte de la hemocianina, la molécula relacionada con la absorción de oxígeno en moluscos (Terwilliger & Ryan 2001). Con base a esto, teóricamente se esperaría una disminución en el contenido de Cu después del periodo de desove de *Chione californiensis*. En general, esto ocurrió aunque la magnitud de cambio no fue significativo (Tabla 4). La actividad reproductiva de la almeja roñosa *Chione californiensis* ocurre principalmente en abril, aunque puede extenderse hasta por 8 meses (García-Domínguez 1991).

Aunque en la estación 7 se encontró la concentración promedio de Pb más alta en las almejas roñosas en este estudio, ésta no sobrepasó el límite estándar ($1 \mu\text{g g}^{-1}$ base húmeda, aproximadamente $5 \mu\text{g g}^{-1}$ base seca) establecido por la NOM-031-SSA-1993 (Secretaría de Salud 1993). Por este motivo, en el presente estudio se interpreta que durante el periodo de estudio no presentó una situación desfavorable asociada a la presencia de toxicidad por metales pesados en Bahía Magdalena. Los niveles de Pb en este estudio se encontraron en el intervalo de concentraciones registradas para el bivalvo *Perna viridis* (Linnaeus) recolectados en Malasia, y en primera instancia no representa un riesgo para la salud humana (Yap et al. 2004). Estudios previos realizados en sedimentos de Bahía Magdalena indican concentraciones $< 10 \mu\text{g g}^{-1}$ en las zonas muestreadas en el presente estudio (Rodríguez-Meza 2005).

Riba et al. (2005) encontraron una relación entre el nivel de bioacumulación de Zn en organismos del estuario de Guadalquivir, España con la presencia de vertimientos enriquecidos de metales resultado de descargas provenientes de actividades mineras. Sin embargo, en Bahía Magdalena no existe este tipo de desarrollo y las concentraciones de Zn en el presente estudio fueron comparables a las registradas en otros sitios que han sido consideradas sin problemas de contaminación antropogénicas (Méndez et al. 2002) y se encuentran por debajo de los niveles que pueden ser considerados tóxicos (Yap et al. 2004).

La contaminación de Cu puede aumentar como resultado de aguas residuales agrícolas (Cao & Hu 2000, Riba et al. 2005). El presente estudio estuvo motivado

por la posibilidad de encontrar un incremento en los niveles del Cu en las almejas, después de la época de lluvias, como resultado del deslave de sedimentos terrígenos transportados hacia el mar desde la zona agrícola de Ciudad Constitución. Sin embargo, contrario a lo esperado no se observaron diferencias estadísticamente significativas, en las concentraciones de este Cu antes y después de la temporada de lluvias, posiblemente por que la respuesta de concentración ambiental-incorporación al tejido sea más prolongado que el período de estudio o este efecto es en realidad insignificante en términos cuantitativos (Tabla 4). Antes y después de la época de lluvias, las concentraciones de Cu se encontraron dentro del intervalo considerado como normal (Nauen 1983), a excepción de los valores registrados en la estación 6 que presentaron niveles más altos significativamente después de la temporada de lluvias ($p < 0.001$).

Los niveles de Cd también se encontraron dentro del intervalo considerado como normal por legislaciones de varios países (Tabla 5). En la parte oceánica de la península de Baja California han sido registrados altas concentraciones de este elemento en plancton (Martin & Broenkow 1975) y en sedimentos (Méndez et al. 1998). Yang & Rose (2005) encontraron en núcleos de sedimentos

evidencias de la presencia de altos niveles de Cd antes de la época de la industrialización, indicando que altas concentraciones de este elemento no están asociadas necesariamente con actividades humanas.

Simkiss et al. (1982) propusieron que usualmente existen correlaciones significativas entre las concentraciones de metales en el medio y en moluscos. Cuando estas correlaciones no son significativas puede indicar el exceso de un elemento y por lo tanto un problema de contaminación y toxicidad para los consumidores de éstas. El hecho que exista una correlación múltiple en la concentración de multi-elementos de metales pesados, significa que éstos pueden estar presentes en el organismo sin que estos sean dañinos al organismo, posiblemente como resultado de la homeostasis en su sistema metabólico (Simkiss et al. 1982). Comparando los resultados obtenidos en este estudio con los registrados por Simkiss et al. (1982) varias de las correlaciones estimadas fueron semejantes en ambos estudios (Tablas 6 y 7).

En conclusión, nosotros observamos que la época de lluvia tiene un efecto significativo en la acumulación de Pb, Ni y Mn en las almejas recolectadas en la parte norte de Bahía Magdalena en el 2004, destacando que la mayoría de los metales pesados están por debajo los

Tabla 5. Legislaciones sobre niveles de concentración de metales pesados en alimentos ($\mu\text{g g}^{-1}$) en diferentes países de acuerdo con revisión realizada por Yap et al. (2004)

Región de estudio	B	Cd	Cu	Pb	Zn
Límites permitidos por la Regulación de Alimentos de Malasia (1985)	H	1.00	30.0	2.0	100
Consejo Internacional para la Exploración del Mar (ICES, 1988)	S	1.80	–	3.00	–
Ministerio de Salud de Brasil (ABIA, 1991)	S	5.00	150	10.0	250
Ministerio de Salud Pública de Tailandia (MPHT, 1986)	S	–	133	6.67	667
Administración de Alimentos y Drogas (USFDA, 1990)	S	25.0	–	11.5	–
Requerimientos Legales de Australia (NHMRC, 1987)	S	10.0	–	350	750
Departamento de Protección Ambiental de Hong Kong (HKEPD, 1997)	H	2.00	–	6.00	–

Tabla 6. Correlaciones de la concentración de metales en almeja *Chione californiensis* antes de la época de lluvia (junio) en Bahía Magdalena, B. C. S., México. * indica diferencias significativas a $p < 0.05$ ($n = 100$ muestras)

Elemento	Cd	Cu	Pb	Ni	Mn	Fe	Zn
Cd	1.00						
Cu	0.12	1.00					
Pb	-0.05	0.03	1.00				
Ni	-0.10	0.20*	0.14	1.00			
Mn	0.24*	0.08	0.46*	-0.01	1.00		
Fe	0.07	0.10	0.34*	0.03	0.29*	1.00	
Zn	0.02	0.11	0.40*	0.01	0.51*	0.35*	1.00

Tabla 7. Correlaciones de la concentración de metales en almeja *Chione californiensis* después de la época de lluvia (noviembre) en Bahía Magdalena, B. C. S., México. * indica diferencias significativas a $p < 0.05$ ($n = 100$ muestras)

Elemento	Cd	Cu	Pb	Ni	Mn	Fe	Zn
Cd		-0.26*					
Cu	0.09	-0.12					
Pb	-0.05	-0.05	1.00				
Ni	0.09	-0.14	0.01	1.00			
Mn	0.35*	0.22*	-0.01	0.23*	1.00		
Fe	1.00	0.35*	0.23*	0.68*	1.00	1.00	
Zn	1.00	1.00	0.01	0.28*	0.06	-0.05	1.00

limites de concentración considerados como tóxicos. Esto sugiere que en la actualidad la porción norte de Bahía Magdalena se encuentra en un estado saludable si consideramos a la almeja *Chione californiensis* como indicador del estado que guardan los organismos del bentos. Sin embargo, es recomendable extender este estudio no solo en número de estaciones para definir el estado de salud de toda esta Bahía, evaluando distintas especies con tasas de bioacumulación específicas, así como ampliar los elementos analizados debido a que en el presente trabajo no se analizaron elementos traza de importancia ambiental como Cr, Se y Sb. Estos elementos fueron registrados en altas concentraciones en el sedimento de esta misma región (Rodríguez-Meza 2005), pudiendo tener un efecto importante en la fisiología y reproducción de la biota de este ecosistema.

Agradecimientos. Este estudio fue posible gracias al financiamiento del proyecto P.C. 2.2 "Metales Pesados" financiado por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR).

LITERATURA CITADA

- Albert LA (1998) Curso básico de toxicología ambiental, Segunda edición, UTHEHA, Noriega Editores, México DF
- Bat L, Gündođdu A, Öztürk M, Öztürk M (1999) Copper, zinc, lead and cadmium concentrations in the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* Lamaeck 1819 from the Sinop coast of the Black Sea. *Tr J Zool* 23:321-326
- Boggs S (1995) Principles of sedimentology and stratigraphy, Second edition. Prentice Hall, New Jersey
- Cao ZH, Hu ZY (2000) Copper contamination in paddy soils irrigated with wastewater. *Chemosphere* 41:3-6
- Consejo de Recursos Mineros (1999) Monografía geológico-minera del estado de Baja California Sur. Primera edición, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Pachuca, Hidalgo. México
- Downie NM, Heath RW (1986) Métodos estadísticos aplicados. Quinta edición, Harla, México D.F
- García-Domínguez FA (1991) Distribución, abundancia, reproducción y fauna asociada de la almeja roñosa, *Chione californiensis*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B. C. S., México
- Gnandi K, Tobschall HJ (1999) The pollution of marine sediments by trace elements in the coastal region of Togo caused by dumping of cadmium-rich phosphorite tailing into the sea. *Environ Geol* 38:13-24
- Gutiérrez-Galindo EA, Flores-Muñoz G, Villaescusa J (1988) Hidrocarburos clorados en moluscos del Valle de Mexicali y Alto Golfo de California. *Cienc Mar* 14:91-113
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2006) Principales resultados por localidad 2005 (ITER) En: II Censo de Población y Vivienda 2005. <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/conteo2005/localidad/iter/default.asp>
- Martin JH, Broenkow WW (1975) Cadmium in plankton: elevated concentrations off Baja California. *Science* 190:884-885
- McNulty JK (1961) Ecological effects of sewage pollution in Biscayne Bay, Florida: sediments and the distribution of benthic and fouling macro-organisms. *B Mar Sci Gulf and Carib* 11:394-347
- Méndez L, Acosta B, Álvarez-Castañeda ST, Lechuga-Devezee CH (1998) Trace metal distribution along the southern coast of Bahía de La Paz (Gulf of California), Mexico. *B Environ Contam Tox* 61:616-622
- Méndez L, Racotta IS, Acosta B, Rodríguez-Jaramillo C (2001) Mineral concentration in tissues during ovary development of white shrimp *Penaeus vannamei*. *Mar Biol* 138:687-692
- Méndez L, Salas-Flores LM, Arreola-Lizarraga A, Álvarez-Castañeda ST, Acosta B (2002) Heavy metals in clams from Guaymas Bay, Mexico. *B Environ Contam Tox* 68:217-223
- Morales-Zarate MV (2006) Patrones de reclutamiento y deriva larvaria de la almeja catarina *Argopecten ventricosus* en el complejo lagunar de Bahía Magdalena-Almejas, B.C.S. México Tesis de doctorado, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, BCS, México
- Muller G (1979) Schwermetalle in den sediment des Rheins-Veränderungen seit 1971. *Umschau* 79:778-783.
- Nauen CE (1983) Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. FAO Fisheries Circ. No. 764, FAO of the United Nations, Rome, Italy
- Núñez EO (1975) Concentración de DDT en *Chione californiensis* de la parte norte del Golfo de California. *Cienc Mar* 1:6-13
- Otchere FA (2003) Heavy metals concentrations and burden in the bivalves (*Anadara (Senilia) senilis*, *Crassostrea tulipa* and *Perna perna*) from lagoons in Ghana: Model to describe mechanism of accumulation/excretion, *African J Biotech* 2:280-287
- Purchase NG, Ferguson JE (1986) *Chione (Austrovenus) stuchbury*, a New Zealand cockle, as a bio-indicator for lead pollution. *Environ Pollut (Series B)* 11:137-151
- Riba I, Blasco J, Jiménez-Tenorio N, Del Valls TA (2005) Heavy

- metal bioavailability and effects: bioaccumulation caused by mining activities in the Gulf of Cadiz (SW, Spain). *Chemosphere* 58:659–669
- Riley JP (1989) Los elementos más abundantes y menores en el agua de mar. En: *Introducción a la química marina*. Primera edición, Riley, J. P. y Chester, R. (eds), AGT Editor, S. A. México, DF
- Rodríguez-Meza GD (2005) Caracterización geoquímica por componentes mayores y elementos traza de sedimentos de los ambientes marinos costeros adyacentes a la península de Baja California. Tesis de doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Sánchez-Montante O (2004) Hidrodinámica y transporte de masa en el sistema lagunar de Bahía Magdalena–Bahía Almejas, Baja California Sur, México: Modelación y experimentación. Tesis de doctorado, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, BCS, México
- Secretaría de Salud (1993) Norma Oficial Mexicana NOM-031-SSA1-1993, bienes y servicios. Productos de la pesca. Moluscos bivalvos frescos–refrigerados y congelados. Especificaciones Sanitarias. México, DF
- Simkiss K, Taylor M, Mason AZ (1982) Metal detoxification and bioaccumulation in mollusks. *Mar Biol Letters* 8:187–201
- Swaileh KM (1996) Seasonal variations in the concentrations of Cu, Cd, Pb, and Zn in *Arcaica islandica* L. (Mollusca: Bivalvia) from Kiel Bay, Western Baltic Sea. *Mar Pollut Bull* 32:631–635
- Terwilliger NB, Ryan M (2001) Ontogeny of crustacean respiratory proteins. *Am Zool* 41:1057–1067
- Van Loon JC (1985) Selected methods of trace metal analysis: biological and environmental samples. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ
- Yang H, Rose N (2005) Trace element pollution records in some UK lake sediments, their history, influence factors and regional differences. *Environ Int* 31:63–75
- Yap CK, Ismail A, Tan SG (2004) Heavy metal (Cd, Cu, Pb and Zn) concentrations in the green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) collected from some wild and aquacultural sites in the west coast of Peninsular Malaysia. *Food Chem* 84:569–575
- Méndez-Rodríguez L, Gardner SC, Acosta-Vargas B, López-Esquerr N, Álvarez-Castañeda ST (2007) Concentración de metales pesados en almeja roñosa *Chione californiensis* (Broderip) en la porción norte de Bahía Magdalena. En: Funes-Rodríguez R, Gómez-Gutiérrez J, Palomares-García R (eds) *Estudios ecológicos en Bahía Magdalena*. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, p 83-90