

Metales en almejas y sedimentos en la Reserva de la Biosfera “Pantanos de Centla” Tabasco, México

Metals in clams and sediments in the marshes of Centla Biosphere Reserve, Tabasco, México

Yanet Guadalupe Pérez-Cruz, Luis José Rangel-Ruiz y Jaquelina Gamboa-Aguilar

Laboratorio de Malacología. División Académica de Ciencias Biológicas. UJAT 0.5 km Carretera Villahermosa-Cárdenas,
Villahermosa 86000 Tabasco, México
e-mail: yanet3010_84@hotmail.com

Pérez-Cruz Y. G., L. J. Rangel-Ruiz y J. Gamboa-Aguilar. 2013. Metales en almejas y sedimentos en la Reserva de la Biosfera “Pantanos de Centla” Tabasco, México. *Hidrobiológica* 23 (1): 1-8.

RESUMEN

Se determinó la concentración (total y biodisponible) de Cadmio, Cromo, Níquel, Plomo y Vanadio en sedimentos y almejas (*Lampsilis tampicoensis*, *Potamilus alata*, *Pyganodon grandis*, *Polymesoda arctata* y *Rangia cuneata*) por el método de Rantala y Loring (1975; IAEA, 1984) en cuatro lagunas y seis ríos de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (RBPC) en Tabasco. Los metales que superaron los límites máximos permisibles (según Long *et al.*, 1995) en sedimentos fueron: Cd total ($1.28 \pm 0.77 \mu\text{g g}^{-1}$), Ni total ($107.51 \pm 23.02 \mu\text{g g}^{-1}$), Pb total ($44.50 \pm 18.97 \mu\text{g g}^{-1}$) y V total ($48.98 \pm 6.88 \mu\text{g g}^{-1}$); en las almejas (según Nauen 1983): Cd ($0.28 \pm 0.13 \mu\text{g g}^{-1}$), Cr ($4.27 \pm 2.29 \mu\text{g g}^{-1}$), Ni ($2.83 \pm 2.33 \mu\text{g g}^{-1}$), ($2.29 \pm 1.10 \mu\text{g g}^{-1}$) y V ($1.85 \pm 1.15 \mu\text{g g}^{-1}$).

Palabras clave: Metales, México, moluscos, pantanos de Centla.

ABSTRACT

Concentrations of Cadmium, Chromium, Nickel, Lead and Vanadium in sediments (total and bioavailable) and clams (*Lampsilis tampicoensis*, *Potamilus alata*, *Pyganodon grandis*, *Polymesoda arctata* y *Rangia cuneata*) were determined by the method of Rantala and Loring (1975; IAEA, 1984) in four lakes and six rivers of the Marshes of Centla Biosphere (RBPC) Tabasco. Metals that exceeded the maximum permissible limits (as Long *et al.*, 1995) in sediments were: Cd total ($1.28 \pm 0.77 \mu\text{g g}^{-1}$), Ni total ($107.51 \pm 23.02 \mu\text{g g}^{-1}$), Pb total ($44.50 \pm 18.97 \mu\text{g g}^{-1}$) and V total ($48.98 \pm 6.88 \mu\text{g g}^{-1}$); in clams (as Nauen 1983): Cd ($0.28 \pm 0.13 \mu\text{g g}^{-1}$), Cr ($4.27 \pm 2.29 \mu\text{g g}^{-1}$), Ni ($2.83 \pm 2.33 \mu\text{g g}^{-1}$), ($2.29 \pm 1.10 \mu\text{g g}^{-1}$) and V ($1.85 \pm 1.15 \mu\text{g g}^{-1}$).

Key words: Metals, Mexico, mollusks, marshes of Centla.

INTRODUCCIÓN

El Estado de Tabasco México, tiene ecosistemas de gran interés, especialmente lagunas costeras y una valiosa red hidrológica que funciona como almacén natural para las diversas especies de animales y plantas que necesitan de este recurso. En Tabasco se realizan principalmente actividades petroleras (extracción y producción) y agrícolas-ganaderas, que juntas representan casi el 90% de los ingresos productivos del estado (Villanueva & Bote-

llo, 1998), por lo que estas importantes áreas se encuentran bajo presión.

La contaminación influye sobre el medio ambiente global a través de actividades como la minería, la quema de combustibles fósiles, la agricultura y la urbanización, lo cual ha acelerado los flujos de metales y sales en la ecósfera (Leckie & James, 1974). Actualmente, en México, los ecosistemas acuáticos son impactados en mayor o menor grado por las actividades antropogénicas,

las que aportan contaminantes orgánicos e inorgánicos que los deterioran (García-Hernández, 1993).

Los metales se encuentran de forma natural en el medio acuático, siendo constituyentes habituales. Sin embargo, la actividad humana ha contribuido al aumento de los niveles de metales en las aguas, sedimentos, flora y fauna, tanto marinas como epicontinentales (Villanueva & Páez-Osuna, 1995). Siendo los sedimentos el mayor receptáculo y el más estable para materiales y sustancias dispersas en la columna de agua, por lo que el análisis químico de los sedimentos es de gran utilidad para detectar algunos de estos compuestos en los ecosistemas acuáticos y debido a su relevancia son utilizados como indicadores de polución (Villanueva & Páez-Osuna, 1995).

Desde el punto de vista sanitario, el problema principal se centra en evitar un exceso de consumo de metales a partir de los alimentos, ya que estos son la principal vía de exposición, de la cual se pueden generar efectos secundarios producto del contacto con dichos metales (Mas, 1993).

Debido a lo antes expuesto, ciertos metales tienden a bioacumularse en el ambiente y a lo largo de la cadena trófica, exhibiendo concentraciones sucesivamente mayores al ascender los niveles tróficos, lo que representan un riesgo para la salud tanto de los organismos que allí habitan, como para las personas que los consumen. Por lo anterior es indispensable, conocer las

concentraciones de algunos metales, como Cd, Cr, Ni, Pb y V, en almejas y sedimentos superficiales; de las lagunas y ríos de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (RBPC) en Tabasco, México y así poder obtener un panorama más actual de las condiciones en las que se encuentra este sistema dulceacuícola e inferir los posibles efectos que pudieran ocasionar estos elementos en el ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, se ubica en los Municipios de Centla, Jonuta y Macuspana, que forma parte de la Región de los Ríos, correspondiente a la Llanura aluvial del delta de los ríos Grijalva-Usumacinta, en el Estado de Tabasco, entre las coordenadas geográficas $17^{\circ} 57'45''$ y $18^{\circ} 39'05''$ de LN y los $92^{\circ}06'30''$ de LO. Su superficie corresponde al 12.2% del total estatal, con 302 706 Ha (INEGI, 1986; SEMARNAT, 1994). El estudio se realizó del 18 de abril al 02 de mayo del 2008 (temporada de estiaje), en 10 localidades: cuatro lagunas (L) y seis ríos (R) de la RBPC: L. Tasajera, L. Guasimo, L. Llano, L. Mixtequilla y en seis ríos R. San Pedro-San Pablo, R. Pantoja, R. Naranjos, R. Hormiguero, R. Bitzal y R. San Pedrito (Fig. 1); en cada localidad se recolectó una muestra de sedimento y una muestra compuesta de 25 a 50 almejas en promedio (dependiendo del tamaño), tomadas en varios sitios de cada laguna. Se determinaron las concentraciones de Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Vanadio

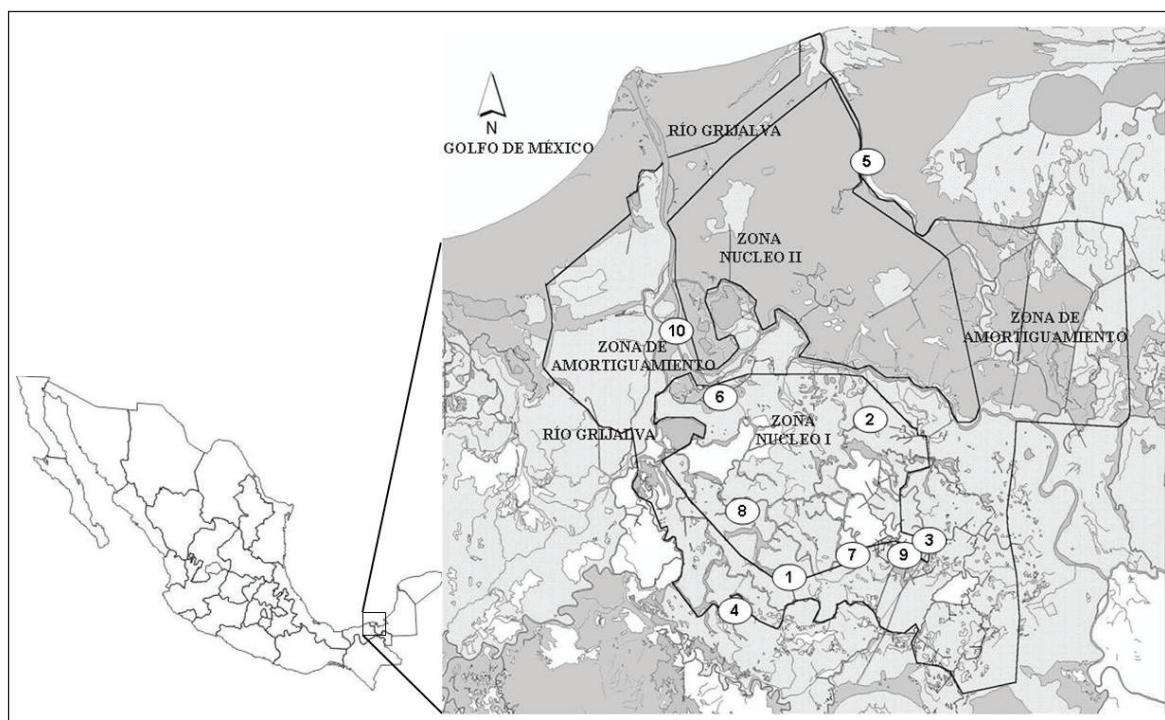


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo de sedimentos y captura de organismos acuáticos (almejas) de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (RBPC). Lagunas: 1. Tasajera, 2. Guasimo, 3. Llano, 4. Mixtequilla. Ríos: 5. San Pedro y San Pablo, 6. Pantoja, 7. Naranjos, 8. Hormiguero, 9. Bitzal, 10. San Pedrito.

(V) en sedimento (totales y biodisponibles) y cinco especies de almejas: *Lampsilis tampicoensis* (Lea, 1836), *Potamilus alata* (Say, 1817), *Pyganodon grandis* (Say, 1829), *Polymesoda arctata* (Deshayes, 1854) y *Rangia cuneata* (Gray, 1831).

Trabajo de campo. Los sedimentos se colectaron con una draga Van Veen de 2 litros de capacidad, únicamente se tomó la parte central del sedimento que no entró en contacto con las paredes de la draga; las almejas fueron extraídas por medio de una red de cuchara o manualmente en los bancos de almejas detectados. Una vez recolectadas las muestras, estas se colocaron en bolsas de polietileno rotuladas y se congelaron aproximadamente 24 horas, hasta su preparación en laboratorio.

Ánálisis de laboratorio. Para la obtención de muestras secas, tanto el tejido como los sedimentos se colocaron en cápsulas de porcelana y se deshidrataron en una estufa a 50 °C durante 24 horas. Posteriormente las muestras secas fueron molidas en un mortero de mano, de manera que se obtuviera aproximadamente 25 g para su posterior análisis.

Los organismos recolectados fueron identificados taxonómicamente, siguiendo el criterio de García-Cubas (1981 & 1990). Todo el material que se utilizó para el análisis de metales se lavó previamente con HCl 2N y HNO₃ 2N y posteriormente se enjuagó con agua tridestilada (Bertini *et al.*, 1976; Moody & Lindstrom, 1977).

Métodos analíticos para metales. Para la extracción de metales totales en sedimentos, se utilizaron 0.5 g de las muestras de sedimentos y se siguió la técnica propuesta por Loring y Rantala (1997) modificada por Páez-Osuna (1988), la cual consiste en una digestión ácida con agua regia invertida 3:1 (HNO₃, HCl) en bombas de teflón (PTFE) a 100 °C con una variación de +10 °C durante 18 horas. Para la fracción biodisponible, se pesaron 2 g de sedimento y se le agregó 25 ml de CH₃ COOH al 25% para que ocurriera digestión durante 2 h en matraces Erlenmeyer (Jenne, 1976; Malo, 1977; Agemian & Chau, 1976; Loring, 1979). Las almejas fueron sacadas de concha, maceradas en su totalidad, y se analizaron siguiendo la técnica propuesta por IAEA (1984): se pesó 1.0 g de tejido seco, se colocó en bombas de teflón, se agregó 5 ml de HNO₃ ultrapuro dejando que ocurriera la digestión por 24 horas a temperatura ambiente. La segunda digestión se llevó a cabo en bombas de teflón cerradas en planchas de aluminio a 140 °C por 3 h, y después la muestra se aforó a 25 ml con agua bidestilada y desmineralizada. La lectura de los elementos se realizó en un espectrofotómetro de Absorción Atómica Shimadzu Mod. 6800, empleando una curva de calibración de estándares para los organismos. Las muestras de sedimentos y organismos se realizaron por duplicado. Todas las concentraciones de metales totales y biodisponibles en sedimentos y organismos se expresaron en µg g⁻¹ (peso seco). En los resultados se presentan primeramente los valores mínimos y máximos posteriormente el promedio y la desviación estándar. También en las tablas se incluyen los valores

en sedimento que producen un efecto biológico (VSEB) y el valor límite de detección. Los resultados obtenidos se compararon con los Límites Máximos Permisibles (por su siglas en español LMP) según la guía de calidad sugerida por Long *et al.*, (1995) para sedimentos y para almejas con los LMP para consumo de alimentos acuáticos, propuesto por la FAO (1978), NOM-032-SSA1-1993 y FDA (1993).

RESULTADOS

Metales totales. El Cd total en el área de estudio varió de 0.43 µg g⁻¹ en la L. Llano a 2.30 µg g⁻¹ en el R. Bitzal, con un promedio de 1.28 ± 0.77 µg g⁻¹. En los R. San Pedro-San Pablo, R. Pantoja, R. Naranjos y R. Bitzal, las concentraciones de Cd superaron los valores permisibles de la guía de calidad sugerida por Long *et al.*, de 1.2 µg g⁻¹ (Long *et al.*, 1995).

El Cr total registró un valor mínimo de 33.01 µg g⁻¹ en el R. Pantoja y un máximo de 65.86 µg g⁻¹ en el R. Naranjos (46.71 ± 9.97 µg g⁻¹), para este metal ninguna localidad superó el LMP de 81 µg g⁻¹.

El Ni total varió de 79.68 µg g⁻¹ en el R. San Pedrito a 158.52 µg g⁻¹ en el R. Hormiguero (107.51 ± 23.02 µg g⁻¹), sobrepasando el LMP de 20.90 µg g⁻¹ en todas las localidades.

Para el Pb total el valor mínimo fue de 25.80 µg g⁻¹ en el R. San Pedro-San Pablo y el máximo fue de 77.21 µg g⁻¹ en el R. Hormiguero (44.52 ± 18.97 µg g⁻¹), sólo las lagunas L. Tasajera y L. Llano y el R. Hormiguero rebasaron el LMP de 46.70 µg g⁻¹.

El V total presentó valores de 40.99 µg g⁻¹ en el R. Pantoja a 60.84 µg g⁻¹ en la L. Llano (48.98 ± 6.88 µg g⁻¹); para este metal no existe una guía de calidad para sedimentos (Tabla 1).

Metales biodisponibles. El Cd biodisponible registró valores de 0.18 µg g⁻¹ en el R. San Pedro-San Pablo a 0.23 µg g⁻¹ en el R. Pantoja, con un promedio de 0.20 ± 0.04 µg g⁻¹ y en ninguna localidad se superó el LMP de 1.2 µg g⁻¹ (Long *et al.*, 1995). El Cr biodisponible presentó valores de 0.23 µg g⁻¹ en el R. Hormiguero a 5.52 µg g⁻¹ en el R. Pantoja (2.68 ± 1.92 µg g⁻¹), mismos que se encontraron por debajo de los que producen efectos biológicos en sedimento (81.00 µg g⁻¹). El Ni biodisponible mostró concentraciones de 0.59 µg g⁻¹ en la L. Llano a 16.32 µg g⁻¹ en el R. San Pedro-San Pablo (3.14 ± 1.83 µg g⁻¹), todos los valores estuvieron por debajo del LMP de 20.90 µg g⁻¹. El Pb biodisponible varió de 1.14 µg g⁻¹ en el R. Pantoja a 5.76 µg g⁻¹ en el R. San Pedrito (3.14 ± 1.83 µg g⁻¹) y siempre estuvo por debajo del LMP de 46.70 µg g⁻¹. El V biodisponible registró valores de 2.83 µg g⁻¹ en el R. Hormiguero a 6.41 µg g⁻¹ en el R. Bitzal (4.75 ± 1.48 µg g⁻¹).

Metales en almejas. Con la finalidad de determinar el daño potencial que pudiesen ocasionar al ser humano el consumo de almejas en la RBPC, el análisis se realizó en todo el tejido de los organismos.

Tabla 1. Concentración de metales totales en sedimentos ($\mu\text{g g}^{-1}$).

Lagunas y Ríos recolectados	Cd	Cr	Ni	Pb	V
L. Tasajera	0.73	51.02	128.20	71.75	56.09
L. Guasimo	0.50	46.79	100.18	40.48	44.82
L. Llano	0.43	42.78	121.66	62.79	60.84
L. Mixtequilla	0.49	44.45	90.33	32.83	53.32
R. San Pedro-San Pablo	2.07	58.18	97.86	25.80	47.95
R. Pantoja	2.19	33.01	91.83	27.57	40.99
R. Naranjos	2.00	65.86	108.08	36.86	60.82
R. Hormiguero	1.10	33.98	158.52	77.21	49.05
R. Bitzal	2.30	44.13	98.71	40.44	47.86
R. San Pedrito	0.97	46.90	79.68	29.44	58.09
MIN	0.43	33.01	79.68	25.80	40.99
MAX	2.30	65.86	158.52	77.21	60.84
PROMEDIO	1.28	46.71	107.51	44.52	48.98
S	0.77	9.97	23.02	18.97	6.88
VSEB	1.20	81.00	20.90	46.70	NE
LD	0.02	0.05	0.19	0.1	2.35

MIN: Concentración Minima; MAX: Concentración Maxima; S: Desviación Estandar; VSEB: Valores en sedimento que producen efectos biológicos según Long *et al.* (1995); LD: Límite de detección; NE: no existen datos sobre un LMP.

De esta manera se identificó que las concentraciones de Cd registradas en almejas variaron de $0.15 \mu\text{g g}^{-1}$ en *Lampsilis tampicoensis* y *Potamilus alata* en el R. Hormiguero y la L. Mixtequilla a $0.5 \mu\text{g g}^{-1}$, en *Polymesoda arctata* en el R. San Pedro-San Pablo, obteniendo un valor promedio de $0.28 \pm 0.13 \mu\text{g g}^{-1}$. Para este método, se observó que las L. Guasimo, L. Llano, y los ríos R. San Pedro-San Pablo, R. Pantoja, R. Bitzal y R. San Pedrito, sobrepasaron el LMP de $0.20 \mu\text{g g}^{-1}$ para consumo de alimentos acuáticos, propuesto por la FAO (1978) (Nauen 1983) y también sobrepasó los valores permitidos por la NOM-032-SSA1-1993 de $0.5 \mu\text{g g}^{-1}$ que puede causar efectos biológicos.

El Cr varió de $0.61 \mu\text{g g}^{-1}$ en *Rangia cuneata* de la L. Mixtequilla a $7.73 \mu\text{g g}^{-1}$ en *P. alata* de la L. Llano ($4.27 \pm 2.29 \mu\text{g g}^{-1}$); en la mayoría de las especies superó el LMP de $0.05 \mu\text{g g}^{-1}$.

La concentración de Ni de $0.67 \mu\text{g g}^{-1}$ en *P. alata* del R. Naranjos a $7.19 \mu\text{g g}^{-1}$ en *R. cuneata* de la L. Tasajera ($2.83 \pm 2.33 \mu\text{g g}^{-1}$); todos los valores estuvieron por debajo del LMP de $80 \mu\text{g g}^{-1}$ (FDA, 1993).

La concentración de Pb de $0.76 \mu\text{g g}^{-1}$ en *L. tampicoensis* del R. Pantoja a $4.96 \mu\text{g g}^{-1}$ en la misma especie de la L. Tasajera ($2.29 \pm 1.10 \mu\text{g g}^{-1}$) en siete estaciones de muestreo los valores fueron superiores al LMP ($1.00 \mu\text{g g}^{-1}$) no así en las muestras de los ríos de R. Pantoja, R. Bitzal y San Pedrito.

La concentración de V fue de $0.42 \mu\text{g g}^{-1}$ en *L. tampicoensis* del R. San Pedrito y la máxima de $3.76 \mu\text{g g}^{-1}$ en *P. alata* de la L. Mixtequilla ($1.85 \pm 1.15 \mu\text{g g}^{-1}$); para este metal no existe información disponible sobre el LMP en organismos (Tabla 3).

DISCUSIÓN

En la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla-Tabasco, se registraron los cinco tipos de metales (Cd, Cr, Ni, Pb, V) en sedimentos y también en las cinco especies de almejas analizadas (*Lampsilis tampicoensis*, *Rangia cuneata*, *Potamilus alata*, *Pyganodon grandis* y *Polymesoda arctata*), con excepción del Cd para *R. cuneata*.

Sedimentos. En los cuatro ríos estudiados (R. San Pedro-San Pablo, R. Pantoja, R. Naranjos y R. Bitzal), se encontraron las concentraciones más altas de Cd con un promedio de $1.28 \pm 0.77 \mu\text{g g}^{-1}$ total, que aunque se encuentra por debajo de lo reportados por Villanueva *et al.* (2005), quienes reportan un promedio de Cd de $2.82 \mu\text{g g}^{-1}$ en la L. El Yucateco, Tab., superaron el LMP. Esto indica que el problema del Cd es preocupante en estos ríos del estado de Tabasco, ya que los niveles elevados de este metal producen efectos biológicos tales como: malformaciones esqueléticas, interferencias con el metabolismo fetal y desarrollo neurológico afectado, cambios en la función testicular así como necrosis testicular en organismos como *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) (Albert, 2004).

Tabla 2. Concentración de metales biodisponibles en sedimentos ($\mu\text{g g}^{-1}$).

Lagunas y Ríos	Cd	Cr	Ni	Pb	V
L. Tasajera	N.D.	N.D.	5.50	N.D.	N.D.
L. Guasimo	N.D.	3.63	11.20	N.D.	6.22
L. Llano	N.D.	N.D.	0.59	2.30	4.01
L. Mixtequilla	N.D.	2.12	6.55	4.22	N.D.
R. San Pedro-San Pablo	0.18	0.42	16.32	N.D.	3.86
R. Pantoja	0.23	5.52	13.34	1.14	5.71
R. Naranjos	N.D.	4.95	7.96	2.30	2.99
R. Hormiguero	N.D.	0.23	8.12	N.D.	2.83
R. Bitzal	N.D.	2.50	7.96	N.D.	6.41
R. San Pedrito	N.D.	2.12	3.24	5.76	5.96
MIN	0.18	0.23	0.59	1.14	2.83
MAX	0.23	5.52	16.32	5.76	6.41
PROMEDIO	0.20	2.68	8.08	3.14	4.75
S	0.04	1.92	4.64	1.83	1.48
VSEB	1.20	81.00	20.90	46.70	NE
LD	0.02	0.05	0.19	0.1	2.35

MIN: Mínimo; MAX: Máximo; S: Desviación Estandar; VSEB: Valores en sedimento que producen efectos biológicos, Long *et al.*, 1995; LD: Límite de detección; ND: No detectado; NE: No existen datos sobre un LMP.

En las localidades estudiadas, el Cr total siempre presentó valores inferiores al LMP, con un máximo en los R. Naranjos ($65.86 \mu\text{g g}^{-1}$) y R. San Pedro-San Pablo ($58.18 \mu\text{g g}^{-1}$). Dichos valores, son menores a los reportados por Aguirre (2006) en la L. El Limón municipio de Macuspana, Tabasco, donde registró concentraciones promedio de Cr $319.22 \mu\text{g g}^{-1}$.

Los valores de Ni total fueron superiores al LMP en las diez estaciones muestreadas; las concentraciones más altas se obtuvieron en el R. Hormiguero, L. Tasajera, L. Llano, R. Naranjos y L. Guasimo, con valores de $100.18 \mu\text{g g}^{-1}$ a $158.52 \mu\text{g g}^{-1}$, que resultaron mayores a los reportados por Villanueva y Botello (1992) para zonas costeras del Golfo de México, donde reportan intervalos de valores de $26.29 \mu\text{g g}^{-1}$ (para la Laguna de Mandinga) hasta $98.40 \mu\text{g g}^{-1}$ (para el Río Tonalá), seguido por los ríos Jamapa, Actopan y Papaloapan en Veracruz, con concentraciones que no exceden los $100 \mu\text{g g}^{-1}$ (Vázquez *et al.*, 1995). El Pb total en el R. Hormiguero, las L. Tasajera y L. Llano fue el metal que registró los mayores valores para la RBPC ($\leq 77.21 \mu\text{g g}^{-1}$), sobrepasando el LMP. Estos resultados fueron muy similares a las concentraciones más altas que se han registrado de Pb total en sistemas costeros del estado Veracruz, como son en lagunas cercanas a la planta nuclear de Laguna Verde: L. del Llano ($77.2 \mu\text{g g}^{-1}$), L. Salada ($78.8 \mu\text{g g}^{-1}$) y L. de la Mancha ($81.1 \mu\text{g g}^{-1}$) (Rodríguez, 1994). Los niveles más altos de V total se obtuvieron en: L. Llano, L. Tasajera, L. Mixtequilla, R. Naranjos, R. San Pedrito y R. Hormiguero ($\leq 60.84 \mu\text{g g}^{-1}$), desafortunadamente para este metal no existen valores de referencia de

su LMP, sin embargo, Aguirre (2006) reportó valores mayores en la L. El Limón, ubicada en el municipio de Macuspana, Tabasco con un promedio de $80.39 \mu\text{g g}^{-1}$.

En cuanto a la fracción biodisponible en los sedimentos, es decir, aquellas formas más fácilmente asimilables por los organismos y más fácilmente dispersables en los diferentes compartimentos ambientales, fue inferior al LMP en las 10 localidades estudiadas para Cd, Cr, Ni, Pb y V. Lo anterior sugiere que las bajas concentraciones se debieron a que los metales quedaron ligados a la fase sólida y por tanto no eran asimilables, lo cual se podría explicar, por el dinamismo particular que presentan los suelos de la reserva y su alto contenido en materia orgánica, que les permite una capacidad de amortiguamiento respecto a los metales, al estructurarlos en forma de complejos organometálicos insolubles.

Almejas. Las almejas en las cuales se registraron valores de Cd superiores al LMP según la FAO (1978) y la guía de la NOM-032-SSA1-1993, fueron: *Lampsilis tampicoensis*, *Potamilus alata*, *Polyymesoda arctata* de los ríos R. San Pedrito, R. Bitzal y las lagunas L. Guasimo, L. Llano, R. Pantoja, R. San Pedro y San Pablo ($\leq 0.50 \mu\text{g g}^{-1}$).

Los valores fueron menores a los reportados por Sobrino *et al.* (2007), en *Argopecten ventricosus* (almeja Catarina) con un promedio de $1.76 + 1.23 \mu\text{g g}^{-1}$. El Cr estuvo por arriba del LMP en todas las localidades y en la mayoría de las almejas (a excepción de

Tabla 3. Concentración de metales en almejas ($\mu\text{g g}^{-1}$).

Lagunas y Ríos	Familia	Especies	Cd	Cr	Ni	Pb	V
L. Tasajera	Unionidae	<i>Lampsilis tampicoensis</i>	0.18	2.48	2.73	4.96	N.D.
	Mactridae	<i>Rangia cuneata</i>	N.D.	1.55	7.19	2.63	1.22
L. Guasimo	Unionidae	<i>Potamilus alata</i>	0.33	3.63	1.25	N.D.	N.D.
	Mactridae	<i>R. cuneata</i>	N.D.	N.D.	1.92	1.56	3.04
L. Llano	Unionidae	<i>P. alata</i>	0.38	7.73	1.09	3.04	N.D.
L. Mixtequilla	Unionidae	<i>P. alata</i>	0.15	3.05	1.25	1.89	3.76
	Unionidae	<i>Pyganoda grandis</i>	N.D.	N.D.	3.50	3.05	N.D.
	Mactridae	<i>R. cuneata</i>	N.D.	0.61	1.41	2.01	N.D.
R. San Pedro y San Pablo	Corbiculidae	<i>Polymesoda arctata</i>	0.50	4.36	6.70	2.06	2.09
R. Pantoja	Unionidae	<i>L. tampicoensis</i>	0.44	4.75	2.74	0.76	N.D.
R. Naranjos	Unionidae	<i>L. tampicoensis</i>	0.16	6.63	1.75	2.58	0.91
	Unionidae	<i>P. alata</i>	N.D.	4.36	0.67	1.08	N.D.
R. Hormiguero	Unionidae	<i>L. tampicoensis</i>	0.15	7.02	6.71	1.91	2.33
R. Bitzal	Unionidae	<i>L. tampicoensis</i>	0.27	7.04	N.D.	N.D.	1.09
R. San Pedrito	Unionidae	<i>L. tampicoensis</i>	0.25	2.30	0.76	N.D.	0.42
MIN			0.15	0.61	0.67	0.76	0.42
MAX			0.5	7.73	7.19	4.96	3.76
PROMEDIO			0.28	4.27	2.83	2.29	1.85
S			0.13	2.29	2.33	1.10	1.15
LMP, FAO			0.20	1.00	ne	2.50	NE
NOM-031-SSA1-			0.5	ne	ne	1.0	NE
LD			0.02	0.05	0.19	0.1	2.35

MIN: Minimo; MAX: Maximo; S: Desviación Estandar; LMP: Limites máximos permisibles para consumo de alimentos acuáticos, FAO (Nauen 1983); LD: Límites de detección; ND: No detectado; NE: No existen datos sobre un LMP.

P. grandis que fue la única especie en que no se registró Cr), con valores $\leq 7.73 \mu\text{g g}^{-1}$; estos en promedio fueron inferiores a los encontrados ($\leq 33.64 \mu\text{g g}^{-1}$) en *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1971) de las lagunas Mandinga, Alvarado y Tamiahua del estado de Veracruz (Guzmán *et al.*, 2005). Existen indicios de que el Cr puede acumularse en diversos animales y vegetales, principalmente acuáticos, por lo que pueden encontrarse cantidades significativas de Cr en organismos que sirven de alimento a otros y que esto se haga presente en la cadena alimenticia (García-Samayo, 2000). Por otro lado, se detectó la presencia de Ni ($\leq 7.19 \mu\text{g g}^{-1}$) en la mayoría de las almejas de las 10 localidades, excepto en *Lampsilis tampicoensis* del R. Bitzal, aunque siempre todas por debajo del LMP de $80 \mu\text{g g}^{-1}$ según la FDA (1993). No obstante, el valor promedio fue mayor al compararlo con el que registró Hernández (1994) en *Brachidontes recurvus* ($3.47 \mu\text{g g}^{-1}$) de la L. Mandinga, Ver.

El Pb sobrepasó el LMP en *L. tampicoensis*, *R. cuneata*, *P. alata* y *P. grandis* de las L. Tasajera, L. Mixtequilla, L. Llano y el R. Naranjos ($\leq 4.96 \mu\text{g g}^{-1}$). Además dicho valor fue mayor al obtenido por Lago *et al.* (2010), en *C. virginica* ($0.484 + 0.08 \text{ mg kg}^{-1}$) de laguna Tamiahua, Ver.; por ello, sería necesario mantener un

monitoreo tanto de las almejas, como de otras comunidades de animales expuestas a la bioacumulación de estos contaminantes en la región, dado que el Pb es tóxico para casi todos los seres vivos a exposiciones altas, y al cual no se le reconoce como un elemento esencial para la actividad de los sistemas biológicos. El principal problema respecto al Pb es determinar la dosis a la cual se vuelve tóxico (Curtis & Watkins, 2001).

La concentración más elevada de V, se registró en: *P. alata*, *R. cuneata*, *L. tampicoensis* y *P. arctata* de las L. Mixtequilla, L. Guasimo, y los ríos R. Hormiguero y R. San Pedro-San Pablo ($\leq 3.76 \mu\text{g g}^{-1}$); La carencia de un LMP de V en alimentos, no permitió determinar el riesgo que este metal representa en las especies analizadas para el consumo humano, sin embargo, los niveles aquí determinados fueron menores a los reportados por Villanueva *et al.* (2005) en la L. El Yucateco, Tabasco, donde se detectó un valor del orden de $7 \mu\text{g g}^{-1}$.

Cabe mencionar que las concentraciones de Cd, Cr, Ni, Pb y V determinadas en el presente estudio, probablemente se debieron a las inundaciones acaecidas en el mes de octubre del 2007

en el Estado de Tabasco, ya que gran parte del agua contaminada por desechos domésticos de las ciudades, fue transportada por los diferentes ríos de esta entidad hacia la RBPC; y como se mencionó anteriormente, las aguas residuales de las ciudades son las portadoras de metales de origen doméstico y municipal (Förstner & Wittmann 1981; Adriano, 1986).

Por lo tanto, se recomienda realizar en la reserva más estudios y/o monitoreos continuos, para determinar la calidad de las almejas en las zonas donde se realiza su explotación, de manera que no constituyan un factor de riesgo para las personas que pudieran llegar a consumirlos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Gobierno del estado de Tabasco por haber financiado el proyecto "Potencial pesquero y biotecnológico de las almejas en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla" Clave TAB -2007-C09-75151, del cual forma parte esta publicación y al Laboratorio de Contaminación Marina del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

REFERENCIAS

- AGEMIAN, H. & A. S. Y. CHAU. 1976. Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. *Analyst* 101 (1207): 761-767.
- AGUIRRE-PALAVICINI, I. C. 2006. Evaluación de los niveles de metales pesados en sedimento y organismos de la L. Limón en Macuspana, Tabasco, México. Universidad Autónoma de Tabasco. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT, Tabasco. 100 p.
- ALBERT, L. A. 2004. *Toxicología Ambiental*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, Chih. 455 p.
- ADRIANO D. C. 1986. *Trace elements in the terrestrial environment*. Springer-Verlag. New York. 533 p.
- BERTINI, K. K., J. H. MARTIN & J. M. TEAL. 1976. Aids to analysis of seawater. In: Goldberg, E. D. (Eds.). *Strategies for marine pollution monitoring*. J. Wiley & Sons, United States, pp. 217-253.
- CURTIS D. K. & J. B. WATKINS III. 2001. *Manual de Toxicología. La ciencia básica de los tóxicos*. Cuarta Ed. McGraw-Hill Interamericana (Eds). México, D. F. 1033 p.
- FDA (FOOD AND DRUG ADMINISTRATION). 1993. Guidance documents for trace elements in seafood. Guidance documents for arsenic, cadmium, chromium, nickel (January), lead (August). www.cfsan.fda.gov/~frf/guid-sf.html.
- DESHAYES G. 1854. Description of new species of shells from the collection of H. Cumming. *Proceedings of the Zoological Society of London* 22: 13-23.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). 1978. Species identification sheets for fishery purposes. Western Central Atlantic Fishery area 31: 1-7.
- FÖRSTNER, U. & G. T. W. WITTMANN. 1981. *Heavy metal pollution in the aquatic environment*. 2nd. Edition. Springer-Verlag, Berlin. Heidelberg, New York. 486 p.
- GARCÍA-CUBAS, A. 1981. Moluscos de un sistema lagunar tropical en el Golfo de México (Laguna de Términos, Campeche). *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México*. Publicación especial. 5: 1-182.
- GARCÍA-CUBAS, A. & M. REGUERO. 1990. Moluscos del sistema lagunar Túpilco-Ostión, Tabasco. México: Sistemática y Ecología. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 17 (2): 309-343.
- GARCÍA-HERNÁNDEZ, L. 1993. *Los metales y la contaminación acuática*. Instituto Politécnico Nacional. México. 29 p.
- GARCÍA-SAMAYO, F. 2000. Monitorización de metales de interés medioambiental en la población de Tarragona. Niveles en tejido de autopsia. Tesis de Doctorado. Facultad de medicina. URV. España. 149 p.
- GRAY, P. 1831. *Student Dictionary of Biology*. Van Nostrand Reinhold Co. New York 1972. 194 p.
- GUZMÁN A. P. S., S. VILLANUEVA & A. V. BOTELLO. 2005. Metales en tres lagunas costeras del estado de Veracruz. In: Botello, A. V., J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot & C. Agraz-Hernández (Eds.). *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*, 2da. Edición. Univ. Autón. de Campeche, Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nac. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología, pp. 361-372.
- HERNÁNDEZ A. E., V. E. HERNÁNDEZ, A. V. BOTELLO & S. VILLANUEVA. 1996. Deterioro por metales del Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz. 6^º Congreso Nacional de Geoquímica. Instituto Nacional de Geoquímica, A. C., México. *Acta INAGEQ* 2: 307-312.
- INEGI (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA). 1986. *Síntesis geográfica, nomenclatura y anexo cartográfico del Estado de Tabasco*, México. 116 p.
- LAGO R. F., C. LANDERO & M.R. CASTAÑEDA. 2010. Bioaccumulation of cadmium (Cd), lead (Pb) and arsenic (As) in *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791), from Tamiahua lagoon system, Veracruz, Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 26 (3): 201-210.
- LEA, I. A. 1836. *Synopsis of the family of naiads*. (Carey, Lea and Blanchard) and (John Miller) Philadelphia, London. 59 p.
- LECKIE, J. O. & R. O. JAMES. 1974. Control Mechanisms for Trace metals in Natural Waters. In: Rubin, A. J. (Ed.). *Aqueous-Environmental Chemistry of Metals*. Ann Arbor Science. Michigan, pp. 1-78.
- LONG, E. R., D. D. MACDONALD, S. SMITH & F. CALDER. 1995. Incidence of adverse effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management* 19 (1): 81-97.

- LORING, D. H. 1979. Geochemistry of cobalt, nickel, chromium and vanadium in the sediments of the Estuary and Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal Earth Science* 16: 1196-1209.
- LUOMA, S. N. & E. A. JENNE. 1976. Estimating bioavailability of sediments-bound trace metals with chemical extractants. In: Memphill, D. D. (Ed.). *Trace Substances in Environmental Health*. University of Missouri, Colombia, pp. 343-351.
- MALO, B. A. 1977. Partial extraction of metals from aquatic sediments. *Environmental Science & Technology* 11 (3): 277-282.
- MAS, A. & J. M. AZCUE. 1993. *Metales en Sistemas Biológicos*. Promociones y Publicaciones Universitarias, S. A. Barcelona. 324 p.
- MOODY J. R. & R. M. LINDSTROM. 1977. Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace elements samples. *Analitical Chemistry* 49: 2264-2267.
- NAUEN, C. E. 1983. *Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 102 p.
- NOM-031-SSA1- (NORMA OFICIAL MEXICANA). 1993. Bienes y Servicios. Productos de la pesca. Moluscos bivalvos frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias. Secretaría de Salud. Gobierno de la República. Mexico. 18 p.
- PÁEZ-OSUNA, F. 1988. Geoquímica de los metales pesados en los sedimentos del Mar de Cortés. Tesis doctoral, UACPyP del CCH, UNAM. México. 391 p.
- RODRÍGUEZ, P. C. 1994. Evaluación de metales en sedimentos, agua y biota de las lagunas Salada, el Llano y la Mancha, Veracruz, México. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 99 p.
- ROJAS DE ASTUDILLO L., I. CHANG-YEN & I. BEKELE. 2005. Heavy metals in sediments, mussels and oysters from Trinidad and Venezuela. *Biología Tropical* 1: 41-53.
- SAY, T. 1829. *American Conchology or Descriptions of the Shells of North America*. New Harmony Indiana: 1-258, 68 láms. 1-7.
- SEGAR D., J. D. COLLINS & J. RILEY. 1971. The distribution of major and some minor elements in marine animals. II Molluscs. *Journal Marine Biology Association* 51: 131-136.
- SOBRINO, F. A., M. C. CACERES & C. ROSAS. 2007. Evaluación del riesgo por consumir moluscos contaminados con cadmio, cromo y plomo. *Hidrobiológica* 17 (1): 49-58.
- SEMARNAT (SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). 1994. *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera "Pantanos de Centla*. Tabasco, México. 245 p.
- IAEA UNEP/ FAO/IOC (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY). 1984. *Determination of total cadmium, zinc, lead and copper in selected marine organisms by flameless atomic spectrophotometry*. References methods for marine pollution studies. UNEP. 134 p.
- VÁZQUEZ F. C., V. K. SHARMA, V. H. ALEXANDER & C. A. FRAUSTO. 1995. Metals in some lagoons of Mexico. *Environmental Health Perspectives* 103 (Suppl 1): 33-34 p.
- VILLANUEVA, F. S. & A. V. BOTELLO. 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: Una revisión. *Revista Internacional. Contaminación Ambiental* 8 (1): 47-61.
- VILLANUEVA, F. S. & F. PÁEZ-OSUNA. 1995. Contaminantes críticos: metales. In: Botello A. V., J. L. Rojas-Galaviz, J. Benítez & D. Zárate-Lomelí (Eds.). *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. EPOMEX Serie Científica 5. Universidad Autónoma de Campeche. México, pp. 681-710.
- VILLANUEVA, F. S. & A. V. BOTELLO. 1998. Metal pollution in coastal of Mexico. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 157: 53-94.
- VILLANUEVA, F. S. & A. V. BOTELLO. 2005. Vigilancia y presencia de metales tóxicos en la laguna el Yucateco, Tabasco, México. In: Botello, A. V., J. R. Osten, G. G. Bouchot & C. A. Hernández (Eds.). *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*. 2da. Edición. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, pp. 407-430.

Recibido: 31 de mayo de 2011.

Aceptado: 27 de julio de 2012.