

## Distribución espacial de Cd y Pb en *Polymesoda solida* y sedimentos costeros del Lago de Maracaibo

Julio César Marín Leal, Cristian Polo, Elisabeth Behling, Gilberto Colina,  
Nancy Rincón y Sedolfo Carrasquero

Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Escuela de Ingeniería Civil,  
Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

[jmarin@fing.luz.edu.ve](mailto:jmarin@fing.luz.edu.ve)

### Resumen

En esta investigación se describen las variaciones espaciales de Cd y Pb en sedimentos costeros y tejido de *Polymesoda solida* del Lago de Maracaibo (Venezuela), como resultado de las posibles fuentes puntuales de contaminación. Se efectuaron cuatro campañas de muestreo en 11 estaciones, entre octubre de 2009 y marzo de 2010. La determinación de metales se realizó por espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito, previa digestión ácida de las muestras en bombas de alta presión. Los resultados muestran una variabilidad espacial significativa del contenido de Cd y Pb, resultante de fenómenos naturales y antrópicos. Con relación a las concentraciones, los sedimentos costeros exhibieron valores bajos ( $0,243 \pm 0,193$  mgCd/Kg masa seca y  $4,117 \pm 5,259$  mgPb/Kg masa seca), estando incluso por debajo de los límites de detección del método ( $0,030$  mgCd/Kg masa seca y  $0,051$  mgPb/Kg masa seca) en algunos casos, mientras que las almejas (*P. solida*) ( $0,963 \pm 0,421$  mgCd/Kg masa seca y  $6,053 \pm 8,958$  mgPb/Kg masa seca), no se consideran aceptables para el consumo humano, de acuerdo con los límites máximos de ingesta semanal tolerable por peso corporal, establecidos por la Organización de Agricultura y Alimentación de las Naciones Unidas. Estas altas concentraciones de metales en las almejas, pueden resultar de los procesos de bioacumulación de los metales disponibles en la columna de agua del Lago de Maracaibo.

**Palabras clave:** eutrofización, Lago de Maracaibo, metales pesados, *Polymesoda solida*, sedimentos.

# Spatial distribution of Cd and Pb in *Polymesoda solida* and coastal sediments from Lake Maracaibo

## Abstract

The Cd and Pb spatial variations in coastal sediments and *Polymesoda solida* tissue of Lake Maracaibo (Venezuela) were investigated, emphasizing possible specific sources of pollution. Four samplings in 11 sites were made between October, 2009, and March, 2010. Metal was determined by atomic absorption spectroscopy with a graphite furnace, after acid digestion of the samples in high pressure pumps. Results show a significant spatial variability of Cd and Pb content, resulting from natural and anthropogenic phenomena. According to the concentrations, coastal sediments exhibited low values ( $0.243 \pm 0.193$  mgCd/Kg dry weight and  $4.117 \pm 5.259$  mgPb/Kg dry weight), even below detection limits for the method ( $0.030$  mgCd/Kg dry weight and  $0.051$  mgPb/Kg dry weight), in some cases. The clams (*P. solida*) ( $0.963 \pm 0.421$  mgCd/Kg dry weight and  $6.053 \pm 8.958$  mgPb/Kg dry weight) were not considered acceptable for human consumption, according to the maximum limits of tolerable weekly ingestion by body weight, established by the Food and Agriculture Organization of the United Nations. These high concentrations of metal in the clams could be the result of bioaccumulation processes of available metals in the Lake Maracaibo water column.

**Keywords:** eutrophication, heavy metals, Lake Maracaibo, *Polymesoda solida*, sediments.

## Introducción

El Lago de Maracaibo es el reservorio de agua más grande de Venezuela, representando un ecosistema de singular relevancia para el país, debido a que contiene recursos energéticos (petróleo), gran diversidad biológica y potencial turístico, lo cual constituye una importante fuente de beneficios económicos. Desde hace muchos años, el Lago ha sufrido un grave deterioro de la calidad de sus aguas como consecuencia de las actividades antrópicas; descargas de desechos domésticos, agrícolas e industriales, en especial los provenientes de la industria petrolera (actividades de explotación, producción o transporte en aguas de la cuenca). Como consecuencia, este cuerpo de agua se ha convertido en sumidero de diversos contaminantes, entre los que destacan los metales pesados [3, 5, 7, 9, 18, 20].

Los metales pesados tienen gran repercusión en los organismos acuáticos, debido a su carácter tóxico, siendo capaces de acumularse en los tejidos, aumentando su concentración y convirtiendo a estos organismos en bioacumuladores. De esta manera, perturban a toda la cadena trófica, lo cual afecta a los seres humanos por constituir el

último eslabón de la misma [10, 22, 24, 25]. El cadmio (Cd) y el plomo (Pb) son dos de los múltiples metales pesados que se encuentran en el Lago de Maracaibo, y cuyas concentraciones en agua, sedimento y biota se han incrementado a lo largo de los años [9]. Estos dos metales se caracterizan por ser altamente tóxicos y solubles, por lo cual, resulta fundamental conocer acerca de su contenido y distribución en sedimentos y organismos vivos del Lago [18, 20].

*Polymesoda solida* es un molusco bivalvo estuarino ampliamente distribuido en el Lago de Maracaibo, puede encontrarse en sedimentos desde arenosos hasta limo arcillosos y es capaz de tolerar amplios rangos de salinidad (desde 0‰ hasta casi marinas de 25‰). La capacidad de los moluscos bivalvos para bioacumular contaminantes tóxicos y en especial metales pesados, ha sido ampliamente reportada en la literatura [1, 6, 8, 11, 12, 19, 22-25]. Sokolova *et al.* [25], por ejemplo, estudiaron la acumulación tejido-específico de Cd en la ostra *Crassostrea virginica*, reportando su capacidad de bioacumulación en el hepatopáncreas y determinando que su efecto puede causar disfunción en las mitocondrias y en los lisosomas a nivel celular. Esta capacidad para bioacumular metales, hace que estos organismos puedan ser utilizados

como indicadores biológicos de contaminación de los ecosistemas donde habitan [6, 13].

El objetivo general de este trabajo consistió en describir la distribución espacial de los metales pesados Cd y Pb en sedimentos costeros y en *P. solida* del sistema Lago de Maracaibo, con relación a las fuentes de contaminación.

## Metodología

### Área de estudio y muestreo

Las muestras de *P. solida* y sedimento costero fueron colectadas en el sistema del Lago de Maracaibo (entre 70°30' W y 73°24' W longitud y entre 09°00' N y 10°30' N latitud), específicamente en 11 localidades de la ribera, tanto en la costa oriental como occidental de la cuenca; y separadas en tres grandes zonas: Bahía El Tablazo (Norte), Estrecho del Lago de Maracaibo (centro) y saco del Lago de Maracaibo (Sur) (Figura 1). Los sitios de muestreo fueron seleccionados considerando su distribución espacial, así como la accesibilidad a los mismos. Se realizaron cuatro muestreos aleatorios simples en cada uno de los sitios de estudio, entre octubre de 2009 y marzo de 2010.

En cada estación se colectó una muestra de *P. solida*, conformada por 10 individuos extraídos del sedimento manualmente a unos 10-20 m de la orilla, los cuales fueron trasladados al laboratorio en refrigeración. Cada organismo fue pesado y medido.

Para los sedimentos se colectaron dos submuestras de aproximadamente 100 g en cada sitio de muestreo, las cuales estuvieron conformadas por tres discos de los primeros 5 cm del sedimento, considerando que esta es la fracción que posiblemente sea utilizada como alimento por los organismos filtradores. Estas muestras fueron transportadas al laboratorio en refrigeración, donde también se realizó el análisis granulométrico, utilizando un juego de tamices.

### Determinación de Cd y Pb

Las muestras de *P. solida* (tejido blando) y sedimentos costeros fueron liofilizadas hasta sequedad en un liofilizador Labconco Freeze Dry System. Seguidamente, los tejidos del bivalvo se trituraron en un mortero hasta la obtención de un polvo fino, mientras que los sedimentos fueron homogenizados y tamizados a 250  $\mu\text{m}$ . Luego, se realizó una digestión de ambos tipos de muestras, con ácido nítrico concentrado, en bombas de alta presión tipo Parr (modelo 243 ACT 304), a una temperatura de  $130 \pm 5^\circ\text{C}$  por 4 h. Las concentraciones de cadmio y plomo se determinaron por triplicado, usando un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin-Elmer modelo 3100, en la mo-



**Figura 1.** Ubicación relativa nacional del área de estudio y de las estaciones de muestreo (•) en el Lago de Maracaibo (Venezuela).

dalidad de horno de grafito (Perkin-Elmer AS60), debido a que las concentraciones encontradas fueron muy bajas [2, 11, 25].

Se realizó un estudio de recuperación de los metales sobre los siguientes materiales estándares de referencia certificados: sedimento estuarino 1646a del NIST (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA) y tejido estándar de ostra 1566a de la NBS (National Bureau of Standards, Gaithersburg, MD, USA), con la finalidad de validar analíticamente la metodología. Los porcentajes de recuperación se encontraron dentro del rango normalmente aceptado ( $100 \pm 5\%$ ), indicando la buena exactitud del método de análisis. Por otra parte, la precisión expresada como desviación estándar relativa, se ubicó por debajo de 5%, mostrando un grado de variabilidad aceptable en las repeticiones de los análisis.

### Parámetros fisicoquímicos

Durante cada muestreo se determinaron "in situ" los siguientes parámetros fisicoquímicos en agua superficial: salinidad (‰) con un salinómetro-refractómetro ATAGO Hand-Held-Refractometer (0-100‰), oxígeno disuelto (mg/L) y temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) con un oxímetro YSI modelo 55 Handheld Dissolved, pH con un pHmetro YSI modelo EcoSense ( $\pm 0,02$  unidades,  $\pm 1$  LSD), transparencia (cm) con un disco Secchi de 30 cm de diámetro y profundidad (cm) con una cinta métrica.

### Análisis estadístico de datos

Se calcularon las medias aritméticas y las desviaciones estándares empleando el programa Microsoft Excel 2010

para Windows 7. En la serie de datos se comprobaron, tanto la homogeneidad de las varianzas (Test de Bartlett), como la distribución normal de los residuos (Test de Kolmogorov-Smirnov). Luego, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía con el programa IBM SPSS Statistics Ver. 20, para determinar las diferencias significativas de los parámetros fisicoquímicos y metales entre los sitios de estudio.

## Resultados y discusión

### Características fisicoquímicas del agua

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para las variables fisicoquímicas medidas en las estaciones de muestreo del Lago de Maracaibo. Los valores generales

fueron: salinidad 6,7‰ (1,5-14,5‰), temperatura 31,4°C (29,4-33,9°C), pH 8,1 (7,4-8,9), oxígeno disuelto 7,57 mg/L (4,32-8,50 mg/L), transparencia 43,3 cm (15,5-73,5 cm) y profundidad 65,0 cm (20,5-88,0 cm).

El ANOVA mostró diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) de los valores de salinidad, oxígeno disuelto, pH y temperatura entre los sitios de muestreo, particularmente entre las estaciones ubicadas al Norte del sistema (Bahía El Tablazo) y las que se encontraban al Sur (Lago) (análisis Post Hoc de Tukey).

De forma general, se observó un gradiente creciente de salinidad desde el Sur (Bobures, San Timoteo, El Ahorcado, Curarire y Barranquitas) hasta el Norte (Las Palmas, Ancón de Iturre, El Moján y Playa Apuz), como resultado del aporte de agua marina proveniente del Golfo de Vene-

Tabla 1. Distribución de las variables fisicoquímicas (media aritmética y rango) en las estaciones de muestreo del Lago de Maracaibo.

Estación	Salinidad (‰)	Temperatura (°C)	pH	OD (mg/L)	Transparencia (cm)	Profundidad (cm)
Bobures	1,5 (0,0-3,0)	30,5 (30,4-30,7)	7,8 (7,6-7,9)	6,83 (6,66-6,98)	61,0 (57,0-65,0)	85,2 (57,0-120,0)
San Timoteo	2,5 (2,0-3,0)	32,7 (32,7-32,8)	8,1 (7,5-8,7)	7,76 (6,98-8,50)	39,0 (35,0-43,0)	77,5 (55,0-100,0)
El Ahorcado	3,0 (3,0-3,0)	33,9 (33,5-34,4)	8,9 (8,3-9,4)	7,94 (7,72-8,49)	34,0 (32,0-36,0)	88,0 (86,0-90,0)
Los Puertos	4,0 (3,0-5,0)	30,2 (28,8-31,5)	7,9 (7,7-7,8)	6,71 (6,16-7,20)	64,0 (57,0-71,0)	64,0 (57,0-71,0)
Las Palmas	12,0 (10,0-14,0)	31,1 (29,8-32,4)	7,8 (7,3-8,2)	7,57 (6,85-8,22)	55,5 (47,0-64,0)	55,5 (47,0-64,0)
Ancón de Iturre	14,5 (13,0-16,0)	29,8 (28,7-31,0)	8,0 (7,5-8,4)	7,16 (6,76-7,90)	49,5 (26,0-73,0)	76,5 (48,0-105,0)
El Moján	11,5 (4,0-19,0)	30,5 (28,0-33,0)	8,2 (6,6-8,0)	8,13 (8,08-8,41)	35,5 (23,0-55,0)	39,0 (23,0-55,0)
Playa Apuz	11,5 (10,0-13,0)	33,9 (30,7-37,1)	8,2 (7,6-8,9)	8,30 (8,25-8,46)	20,5 (15,0-26,0)	20,5 (15,0-26,0)
Punta Capitán Chico	6,0 (5,0-7,0)	31,4 (30,7-32,1)	8,1 (8,0-8,3)	8,43 (8,31-8,50)	73,5 (70,0-77,0)	78,5 (77,1-80,0)
Curarire	3,5 (3,0-4,0)	32,2 (31,1-33,2)	8,9 (8,8-8,9)	8,48 (8,43-8,52)	28,5 (24,0-33,0)	61,0 (52,0-70,0)
Barranquitas	3,5 (3,0-4,0)	29,4 (28,90-30,1)	7,4 (6,6-8,0)	5,32 (4,32-6,33)	15,5 (15,0-16,0)	69,0 (60,0-78,0)
Media	6,7	31,4	8,1	7,57	43,3	65,0
Mínimo	1,5	29,4	7,4	4,32	15,5	20,5
Máximo	14,5	33,9	8,9	8,50	73,5	88,0

n=4, OD: oxígeno disuelto.

zuela. La ligera alcalinidad mostrada por los valores de pH son muestra del sistema carbonatos imperante en las aguas del Lago, lo cual resulta típico de los ecosistemas que presentan un sistema buffer (dióxido de carbono-carbonato-bicarbonato) [30]. Las relativamente altas concentraciones de oxígeno disuelto encontradas, resultan de la alta actividad biológica observada en los sitios de muestreo (vegetación acuática y fitoplancton), como consecuencia del enriquecimiento con nutrientes que sufre el Lago desde hace décadas. Estos resultados son congruentes con los reportados en estudios anteriores para el sistema Lago de Maracaibo [7, 10, 18, 20].

### Cd y Pb en sedimentos costeros

El análisis granulométrico de los sedimentos costeros mostró una proporción predominante (>50%) de la fracción limo/arcilla, seguida de la arena fina (>20%), a excepción de las estaciones Ancón de Iturre y Los Puertos, cuya composición estuvo dominada por la fracción arena fina (>55%).

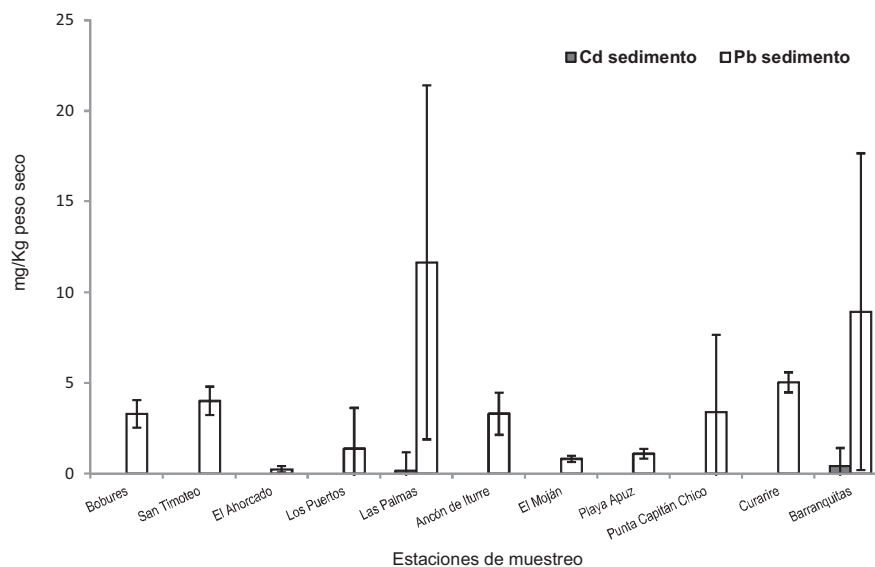
Las concentraciones de los metales mostraron una media aritmética para el cadmio de  $0,243 \pm 0,193$  mg/Kg masa seca y para el plomo de  $4,117 \pm 5,259$  mg/Kg masa seca, cuyos valores oscilaron entre 0,029-0,406 y 0,016-26,701 mg/Kg masa seca, respectivamente. El Cd fue cuantificable solamente en dos estaciones de muestreo (Las Palmas y Barranquitas), debido a que en los demás sitios se encontró por debajo del límite de detección del método de análisis utilizado (0,030 mg/Kg masa seca) (Figura 2).

El análisis de varianza evidenció la existencia de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para la presencia de Cd y

Pb entre las muestras de sedimentos costeros de las distintas estaciones. La alta variabilidad de los valores entre las estaciones, se debió posiblemente a la diversidad de fuentes de estos metales (Cd y Pb) en el sistema, el cual constituye un medio altamente complejo como consecuencia de la variedad de actividades que se desarrollan, tanto dentro de su cuenca como en los alrededores del mismo. Es por ello que, ciertas actividades en zonas puntuales pueden ocasionar una marcada variación en las concentraciones de metales [3, 7, 10, 18].

En esta investigación las concentraciones de Cd y Pb encontradas fueron significativamente más bajas que las reportadas en estudios similares en el Lago de Maracaibo [3, 10, 18], pero la diferencia radica en que en el presente estudio se captaron muestras de sedimentos costeros, los cuales evidentemente tienen un menor tiempo de vida, así como baja capacidad de sedimentación y acumulación de metales, en comparación a las muestras obtenidas en zonas profundas, cuyos sedimentos funcionan como sumideros para metales y nutrientes [28, 32]. La habilidad de los sedimentos para retener metales por mecanismos de absorción o precipitación, resulta de las condiciones físico-químicas del agua sobrenadante [15, 26].

Si bien la presencia de Cd solo se detectó en las estaciones Las Palmas ( $0,161 \pm 0,186$  mg/Kg masa seca) y Barranquitas ( $0,406 \pm 0,050$  mg/Kg masa seca) (Figura 2), el Instituto para el Control y Conservación del Lago de Maracaibo [10], ha reportado concentraciones de 2,20 mgCd/Kg masa seca para sedimentos del Lago de Maracaibo, mientras que Ávila *et al.* [3], encontró concentraciones de hasta 3,37 mgCd/Kg masa seca, en la zona del Estrecho de Ma-



**Figura 2.** Distribución espacial de las concentraciones de Cd y Pb en sedimentos costeros del Lago de Maracaibo durante el periodo de estudio. Límites de detección: 0,030 mgCd/Kg masa seca y 0,051 mgPb/Kg masa seca.

racaibo, estableciendo que la presencia de este metal está directamente relacionada con el contenido de materia orgánica de los sedimentos.

En cuanto al Pb, su presencia si pudo ser cuantificada en todas las estaciones de muestreo (Figura 2), cuyos valores resultan mucho menores que los reportados para este mismo ecosistema por Barco [5] de 206,39 mgPb/Kg, por el ICLAM [10] de 56,72 mgPb/Kg y por Ávila *et al.* [3] de 60,59 mgPb/Kg. En el presente estudio, las estaciones donde se encontraron las mayores concentraciones de Pb resultaron las mismas donde se obtuvieron los máximos contenidos de Cd: Las Palmas (11,643 mgPb/Kg masa seca) y Barranquitas (8,930 mgPb/Kg masa seca), lo cual puede estar relacionado con la acumulación de metales en estas zonas, resultante del patrón de circulación de las masas de aguas u otras condiciones ambientales particulares, incluyendo la cercanía a sitios de transporte y/o procesamiento de petróleo.

Estudios previos realizados en el sistema del Lago de Maracaibo tienen como punto de coincidencia que, la presencia y concentraciones de metales pesados en los sedimentos provienen de distintas fuentes; puntuales y no puntuales, que descargan directa o indirectamente en el sistema [3, 18, 20], entre las que destacan las actividades relacionadas con la explotación petrolera, la cual se realiza desde hace más de 4 décadas en la cuenca.

Aparte de las actividades relacionadas con la explotación de petróleo, existen otros factores que influyen en la contaminación por metales pesados [16]. Los grandes asentamientos humanos y sus desechos, pueden contribuir grandemente al aporte de metales al ambiente, como en el caso de las ciudades de Maracaibo, San Francisco, Cabiñas y Lagunillas, las cuales conforman los municipios mayormente poblados de la cuenca del Lago de Maracaibo y, donde se generan descargas o vertidos de sustancias al Lago, no sólo de tipo doméstico, sino también industrial y agropecuario [18, 20]. Esta situación estaría determinando la relativa alta presencia de Pb en las estaciones Las Palmas (11,643 mgPb/Kg masa seca), Punta Capitán Chico (3,380 mgPb/Kg masa seca) y Ancón de Iturre (3,295 mgPb/Kg masa seca) (Figura 2).

Las concentraciones de Cd y Pb en los sedimentos costeros del Lago de Maracaibo, no sobrepasaron los valores de comparación de riesgo relativo para sedimentos en ambientes marinos y estuarinos, establecidos por la Administración Nacional Atmosférica y Oceánica de los Estados Unidos de América [17], los cuales son de 5 mgCd/Kg y de 35 mgPb/Kg. En Venezuela no existen límites de tolerancia para estas concentraciones.

### Cd y Pb en *P. solida*

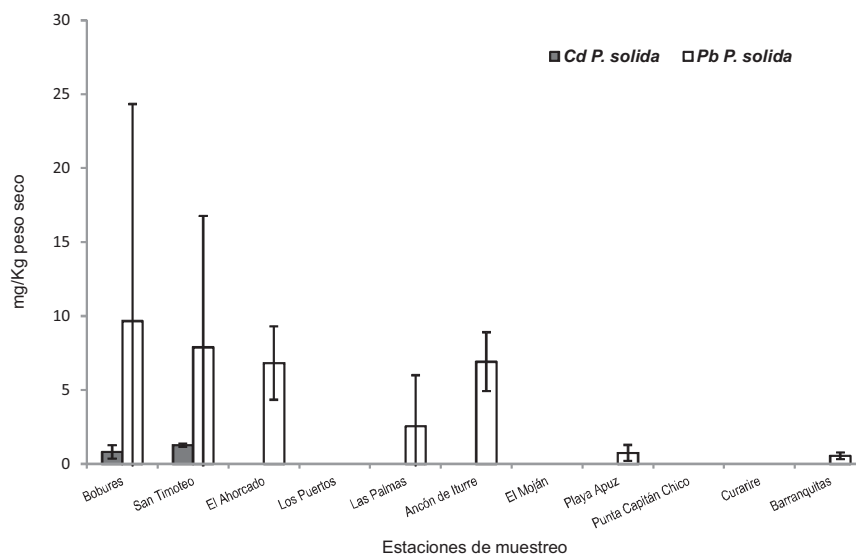
El predominio general del rango de tallas (longitud total) de *P. solida* para este estudio estuvo entre 2,58 y 3,60 cm. La media aritmética para la altura de los especímenes examinados fue de  $2,19 \pm 0,28$  cm; el ancho de  $3,21 \pm 0,39$  cm y la masa seca de  $2,19 \pm 0,54$  g.

Las concentraciones de Cd y Pb en tejido de *P. solida* del Lago de Maracaibo fueron relativamente bajas, particularmente las de Cd. La media aritmética para el Cd fue de  $0,963 \pm 0,421$  mg/Kg masa seca, mientras que para el plomo fue de  $6,053 \pm 8,958$  mg/Kg masa seca, cuyos valores oscilaron entre 0,483-1,267 y 0,076-38,412 mg/Kg masa seca, respectivamente. El Cd solo se detectó en almejas colectadas en dos de las estaciones de muestreo (Bobures y San Timoteo: Sur del Lago), en tanto que el Pb, se encontró en la mayoría de las estaciones (Figura 3).

El ANOVA mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) para las concentraciones de Cd y Pb en los tejidos de *P. solida* entre las estaciones de muestreo, mostrando la variabilidad espacial observada también en los sedimentos costeros.

La distribución espacial de las concentraciones de Cd y Pb en los tejidos de *P. solida*, exhibieron sus mayores tenores en la zona Sureste del Lago de Maracaibo, específicamente en las estaciones Bobures, San Timoteo y El Ahorcado; esta última solo para Pb (Figura 3). Este resultado puede estar relacionado con las actividades de extracción de petróleo, ya que durante los muestreos se observaron manchas de hidrocarburos en las aguas de estos sitios de muestreo, así como una contaminación notable en los artículos de pesca (redes y embarcaciones) de los pescadores artesanales de la zona. Está suficientemente reportado que el petróleo constituye una mezcla de compuestos orgánicos e inorgánicos, donde destaca la presencia de metales pesados, en especial de Pb [16, 29].

Los resultados obtenidos en el presente estudio no muestran relación directa entre las concentraciones de los metales en los tejidos del bivalvo y las observadas en el sedimento. Sin embargo, se puede inferir que los niveles de Pb en los tejidos de *P. solida* de las estaciones Bobures, San Timoteo y El Ahorcado; donde se observó contaminación por hidrocarburos, resultan de la incorporación de este metal a partir del alimento (agua), ya que la especie es netamente filtradora-micrófaga [4, 6]. Saavedra *et al.* [21], reportaron que la bioacumulación de metales pesados (Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, As, Zn y Hg) en el molusco bivalvo *Mytilus galloprovincialis* de las costas de Galicia (España), estuvo estrechamente relacionada con la alta capacidad de esta especie para filtrar en la columna de agua. Por su parte, Álvarez [1], en su estudio sobre uso de bioacumuladores



**Figura 3.** Distribución espacial de las concentraciones de Cd y Pb en tejido de *P. solida* del Lago de Maracaibo durante el periodo de estudio. Límites de detección: 0,030 mgCd/Kg masa seca y 0,051 mgPb/Kg masa seca.

como indicadores de contaminación en la Península de Paraguaná (Venezuela), reportó que la presencia de metales pesados en los tejidos de las especies monitoreadas, estuvo directamente relacionada con la cercanía de los sitios de estudio a las refinерías de petróleo de la zona, siendo la alimentación por filtración determinante en la bioacumulación de metales.

El contenido de metales en tejidos de moluscos es un indicador indiscutible de la presencia en el medio de estos contaminantes, en particular cuando las descargas no son constantes o muy elevadas, y su detección en agua o sedimentos se dificulta. No obstante, la bioacumulación depende de varios factores, entre los que destaca la biodisponibilidad del contaminante, la cual está en función de: 1) la movilización de los metales en las aguas intersticiales y su especiación química, 2) la transformación de metales como el Pb (ejemplo, metilación), 3) el control ejercido por los componentes del sedimento (ejemplo, materia orgánica), 4) la competencia entre los metales, dentro de los que destaca el Cd, por posiciones de ingreso en los organismos, y 5) los efectos de la bioperturbación, salinidad, coeficiente redox, valores de pH, entre otros [12, 23, 24].

Las altas concentraciones de metales pesados en los cuerpos de agua no solo resultan del impacto de la actividad petrolera, sino que también están estrechamente relacionadas con la presencia en las áreas circundantes de zonas industrializadas altamente contaminantes. Igualmente, los vertidos de aguas residuales residenciales o actividades antrópicas, constituyen factores que incrementan la disponibilidad de estos contaminantes en los sistemas acuáticos [8, 16, 19].

Los niveles de Cd y Pb obtenidos en tejidos de *P. solida* del Lago de Maracaibo son comparables a los reportados para moluscos bivalvos de otros ecosistemas acuáticos. En este sentido, Luis *et al.* [14], reportaron concentraciones de 0,64-2,24 mgCd/Kg masa seca y de 0,06-0,66 mgPb/Kg masa seca para organismos de una región de Filipinas, mientras que Tapia *et al.* [27], observaron valores de 0,21-4,32 mgCd/Kg masa seca y de 0,43-31,10 mgPb/Kg masa seca en la región costera de Chile (océano Pacífico). Las concentraciones encontradas en el presente estudio, son significativamente superiores a las establecidas por la Organización de Agricultura y Alimentación de las Naciones Unidas [31], para la ingesta semanal tolerable por peso corporal en este tipo de alimentos, las cuales son de 25  $\mu\text{g/Kg}$  para el Pb y de 7  $\mu\text{g/Kg}$  para el Cd, representando un riesgo potencial para los consumidores, debido a los efectos adversos de los metales sobre los seres humanos.

## Consideraciones finales

La zona costera del Lago de Maracaibo posee una dinámica propia, espacialmente compleja y variable, con relación a las fuentes y distribución de metales. Las mayores concentraciones de Cd y Pb en sedimento (estaciones Las Palmas y Barranquitas) y tejido de *P. solida* (estaciones Bobures y San Timoteo), pueden resultar de la combinación de fenómenos naturales y antrópicos, siendo particularmente importante la influencia de las actividades de explotación de petróleo dentro del ecosistema y el aporte de aguas residuales (domésticas e industriales) provenientes de los asentamientos urbanos.

El contenido de Cd y Pb encontrado en los sedimentos analizados fue relativamente bajo, como resultado del origen de las muestras (línea costera), mostrando diferencias espaciales significativas. La mayoría de las concentraciones de Cd estuvieron por debajo del límite de detección del método de análisis utilizado (0,030 mg/Kg masa seca).

En cuanto a los niveles de metales en tejido de *P. solida*, los resultados fueron relativamente variables, con concentraciones más bajas para el Cd. Sin embargo, se establece que las poblaciones de *P. solida* del Lago de Maracaibo están contaminadas con metales pesados, particularmente en las estaciones Bobures, San Timoteo, El Ahorcado, Las Palmas y Ancón de Iturre, no siendo aptas para el consumo humano, considerando los límites máximos de ingesta semanal tolerable por peso corporal, establecidos por la Organización de Agricultura y Alimentación de las Naciones Unidas. Estas altas concentraciones de metales en las almejas, resultan de los procesos de bioacumulación de los metales disponibles en el Lago.

## Agradecimientos

Al Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología e Innovación de Venezuela, por el cofinanciamiento otorgado para la realización de esta investigación.

## Referencias

- [1] ÁLVAREZ, S. (1994). Uso de bioacumuladores como indicadores de contaminación por los metales pesados Cd, Cr y V en la Península de Paraguaná. Tesis de Maestría. Universidad del Zulia. Facultad de Ingeniería. 73 p.
- [2] AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF) (1998). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20<sup>th</sup> Edition. Washington, D.C.: American Public Health Association 1015 Fifteenth Street. p.p. 1350.
- [3] ÁVILA, H.; GUTIÉRREZ, E.; LEDO, H.; ARAUJO, M.; SÁNQUIZ, M. (2010). Heavy metals distribution in superficial sediments of Maracaibo Lake (Venezuela). **Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia**. 33(2): 122-129.
- [4] BAQUEIRO, E.; BORABE, L.; GOLDARACENA, C.; RODRÍGUEZ, J. (2007). Los moluscos y la contaminación. Una revisión. **Rev. Mex. Biodiv.** 78: 1-9.
- [5] BARCO, L. (1989). Determinación de mercurio, plomo y zinc en aguas y sedimentos en el estrecho del Lago de Maracaibo. Tesis de Maestría. Universidad del Zulia. Facultad de Ingeniería. p.p. 102.
- [6] BESADA, V.; ANDRADE, J.; SCHULTZE, F.; GONZÁLEZ, J. (2011). Monitoring of heavy metals in wild mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from the Spanish North-Atlantic coast. **Cont. Shelf Res.** 31: 457-465.
- [7] ESCLAPÉS, M.; GALINDO, I. (2000). Calidad de las aguas del Lago de Maracaibo. En: G. Rodríguez (Ed.), **El Sistema de Maracaibo**, 2<sup>a</sup> Edición (p.p. 125-146) Caracas.
- [8] FRASER, M.; SURETTE, C.; VAILLANCOURT, C. (2011). Spatial and temporal distribution of heavy metal concentrations in mussels (*Mytilus edulis*) from the Baie des Chaleurs, New Brunswick, Canada. **Mar. Pollut. Bull.** 62(6): 1345-1351.
- [9] ICLAM (1988). Determinación de la concentración de hidrocarburos y metales pesados en agua, sedimento y biota del Lago de Maracaibo. Informe Técnico. Instituto para el Control y la Conservación del Lago de Maracaibo. p.p. 47.
- [10] ICLAM (2001). Monitoreo ambiental regional del Lago de Maracaibo. Tercera evaluación. Informe Técnico. Instituto para el Control y la Conservación del Lago de Maracaibo. p.p. 81.
- [11] JAFFÉ, R.; LEAL, I.; ALVARADO, J.; GARDINALI, P.; SERICANO, J. (1995). Pollution effects of the Tuy River on the central Venezuelan coast: Anthropogenic organic compounds and heavy metals in *Tivela mactroidea*. **Mar. Pollut. Bull.** 30(12): 820-825.
- [12] JOKSIMOVIC, D.; TOMIC, I.; STANKOVIC, A.; JOVIC, M.; STANKOVIC, S. (2011). Trace metal concentrations in Mediterranean blue mussel and surface sediments and evaluation of the mussel's quality and possible risks of high human consumption. **Food Chem.** 127: 632-637.
- [13] LIANG, L.; HE, B.; JIANG, G.; CHEN, D.; YAO, Z. (2004). Evaluation of mollusks as biomonitors to investigate heavy metal contaminations along the Chinese Bohai Sea. **Sc. Total Environ.** 324: 105-113.
- [14] LUIS, E.; BALAGOT, A.; VILLAFLOR, A.; SÁNCHEZ, F.; DEVELLES, E. (1989). Pb, Cd and Hg contents of bivalves collected during the different seasons of the year. **Food Chem.** 32(4): 239-255.
- [15] MAGESH, N.; CHANDRASEKAR, N.; VETHA, D. (2011). Spatial analysis of trace element contamination in sediments of Tamiraparani estuary, southeast coast of India. **Estuar. Coastal Shelf Sc.** 92: 618-628.
- [16] NASER, H. (2013). Assessment and management of heavy metal pollution in the marine environment of the Arabian Gulf: A review. **Mar. Poll. Bull.** 72(1): 6-13.
- [17] NOAA. (1990). The potential for biological effects of sediments-sorbed contaminants tested in the national status and trends program. Technical Memorandum NOS, OMA. National Oceanic and Atmospheric Administration. p.p. 52.
- [18] PARRA-PARDI, G. (1979). **Estudio sanitario integral sobre la contaminación del Lago de Maracaibo y sus afluentes**. Caracas: Ministerio del Ambiente y de los Recursos naturales Renovables (MARNR). Dirección de Investigación del Ambiente. p.p. 225.
- [19] PERCEVAL, O.; COUILLARD, Y.; PINEL-ALLOUL, B.; BONNERIS, E.; CAMPBELL, P. (2006). Long-term trends in accumulated metals (Cd, Cu and Zn) and metallo-



- thionein in bivalves from lakes within a smelter-impacted region. **Sc. Total Environ.** 369: 403-418.
- [20] RODRÍGUEZ, G. (2000). **El Sistema del Lago de Maracaibo**. Segunda edición. Caracas: Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). p.p. 264.
- [21] SAAVEDRA, Y.; GONZÁLEZ, A.; FERNÁNDEZ, P.; BLANCO, J. (2004). The effect of size on trace metal levels in raft cultivated mussels (*Mytilus galloprovincialis*). **Sc. Total Environ.** 318: 115-124.
- [22] SALAZAR-LUGO, R. (2009). Estado de conocimiento de las concentraciones de cadmio, mercurio y plomo en organismos acuáticos de Venezuela. **Revista Electrónica de Veterinaria.** 10(11): 1-16.
- [23] SHULKIN, V.; KAVUN, V. (1995). The use of marine bivalves in heavy metal monitoring near Vladivostok, Russia. **Mar. Poll. Bull.** 31(4-12): 330-333.
- [24] SILVA, C.; SMITH, B.; RAINBOW, P. (2006). Comparative biomonitoring of coastal trace metal contamination in tropical South America (N. Brazil). **Mar. Environ. Res.** 61(4): 439-455.
- [25] SOKOLOVA, I.; RINGWOOD, A.; JOHNSON, C. (2005). Tissue-specific accumulation of cadmium in subcellular compartments of Eastern oysters *Crassostrea virginica* Gmelin (Bivalvia: Ostreidae). **Aquat. Toxicol.** 74: 218-228.
- [26] STRADY, E.; KERVELLA, S.; BLANC, G.; ROBERT, S.; STANISIERE, J.; COYNEL, A.; SCHAFER, J. (2011). Spatial and temporal variations in trace metal concentrations in surface sediments of the marines Oléron Bay. Relation to hydrodynamic forcing. **Cont. Shelf Res.** 31: 997-1007.
- [27] TAPIA, J.; VARGAS-CHACOFF, L.; BERTRÁN, C.; CARRASCO, G.; TORRES, F.; PINTO, R.; URZÚA, S.; VALDERRAMA, A.; TETELIER, L. (2010). Study of the content of cadmium, chromium and lead in bivalve molluscs of the Pacific Ocean (Maule Region, Chile). **Food Chem.** 121(3): 666-671.
- [28] TESTA, J.; BRADY, D.; DI TORO, D.; BOYNTON, W.; CORNWELL, J.; KEMP, W. (2013). Sediment flux modeling: Simulating nitrogen, phosphorus, and silica cycles. **Estuar. Coastal Shelf Sc.** 131: 245-263.
- [29] VILLANUEVA, S.; BOTELLO, A. (1998). Metal pollution in coastal areas of Mexico. **Rev. Environ. Contam. Toxicol.** 157: 53-94.
- [30] WETZEL, R. (1981). **Limnología**. Barcelona: Ediciones Omega, S.A. p.p. 679.
- [31] WHO/FAO (1999). Summary report of the 53<sup>rd</sup> meeting of the joint FAO/WHO. Expert committee on food additives (JECFA). FAO, Roma. p.p. 267.
- [32] ZAHRA, A.; ZAFFAR, M.; NASEEM, R.; AHMED, Z. (2014). Enrichment and geo-accumulation of heavy metals and risk assessment of sediments of the Kurang Nallah-Feeding tributary of the Rawal Lake Reservoir, Pakistan. **Sc. Total Environ.** 470-471: 925-933.
-