



Acumulación de Hg, Pb, Cd y Zn por *Pomacea flagellata* en tres balnearios ubicados en la región urbana de la Laguna de Bacalar

Acerca de los autores...

^{1,2 y 3}División de Ciencias e Ingeniería, Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad de Quintana Roo, Chetumal, Quintana Roo.

⁴Biotecnología y Bioingeniería, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. San Pedro Zacatenco, México D. F.

José Luis González Bucio¹, José Manuel Carrión Jiménez¹, Jaime Dionisio Cuevas Domínguez², Fernando Enrique Flores Murrieta², Joel Omar Yam Gamboa², Jesús Moreno Caraveo², Josefina Pérez Vargas³, Graciano Calva Calva⁴

Resumen

Por sus características hidrológicas y geológicas, la Laguna de Bacalar en Quintana Roo, es una zona propensa a ser impactada por metales pesados, debido al crecimiento urbano y las actividades económicas en la región. El presente trabajo tiene como objetivo el estudio de la acumulación en el año 2014 de los metales pesados Hg, Pb, Cd y Zn en el molusco *Pomacea flagellata* Say, 1827 que habita en la zona de la Laguna de Bacalar. Para ello, se realizaron muestreos en tres sitios a lo largo de la Laguna durante la temporada de seca (enero) y la temporada de lluvia (mayo). En temporada de lluvia, los niveles de acumulación de los metales estudiados se incrementaron ligeramente, tanto en el molusco como en los sedimentos. Se observó por un lado, que las cantidades de estos metales en el molusco estuvieron por debajo del límite máximo permisible (LMP) que indica la norma mexicana correspondiente (NOM-129-SSA1-1995), sin embargo las de Pb y Hg rebasaron los límites internacionales que indican las normas de la Unión Europea, la FAO y la FAO/WHO. Por otro lado, las cantidades de todos los metales analizados en sedimento rebasaron los LMP que indica la norma NOM-001 ECOL- 1996, y por consiguiente las normas internacionales.

Palabras clave:

Metales pesados, molusco, sedimentos, adsorción-desorción.

Introducción

La contaminación dulceacuícola ocasionada por las actividades antropogénicas constituye uno de los problemas de mayor trascendencia en nuestros tiempos. Las Lagunas y estuarios son los ecosistemas más frágiles y sensibles y con el transcurso de los años han sufrido una serie de transformaciones negativas, esto debido a la gran contaminación.

Muchos de esos ecosistemas acuáticos se encuentran contaminados, por causa de la actividad humana, algunos incluso, con sustancias tóxicas, como los metales pesados (González, *et al.*, 2008) que son altamente dañinos para la biota acuática, debido a su capacidad de bioacumulación y biomagnificación a lo largo de la cadena trófica (Marcovecchio, *et al.*, 1991).



La Laguna de Bacalar es la más importante en el sur de Quintana Roo, por su gran atractivo turístico, su belleza natural, cultural, histórica y escénica para los habitantes locales, regionales, nacionales e internacionales. Además, presenta una gran riqueza de especies características de ambientes lacustres, como por ejemplo el molusco de la especie *Pomacea flagellata* Say, 1827, mejor conocido en la región como caracol chivita, el cuál es capturado para autoconsumo y también para su venta.

A los caracoles correspondientes al género *Pomacea* se les ha asignado distintos nombres, como: "caracol manzana", con el que es conocido a nivel mundial. En Tabasco

lo llaman “tote”, “caracol de Río” y “caracol de pantano”; en Chiapas se le denomina “tango”; en Veracruz “tegogolo” (Rangel, *et al.*, 2003) y en Quintana Roo es conocido como “caracol chivita” (Fig. 1).



Figura 1

Pomacea flagellata Say, 1827, encontrado en la laguna de Bacalar, al sur de Quintana Roo, donde es conocido como caracol chivita y utilizado por la comunidad para autoconsumo y venta regional.

Aunque aún parece encontrarse en buen estado de conservación, la Laguna de Bacalar sufre debido a la contaminación proveniente de fuentes antropogénicas derivadas de actividades de agricultura y ganadería, pero principalmente a la falta de drenaje de la ciudad de Bacalar, lo cual incide negativamente en la calidad del agua de la Laguna (Seduma, 2011).

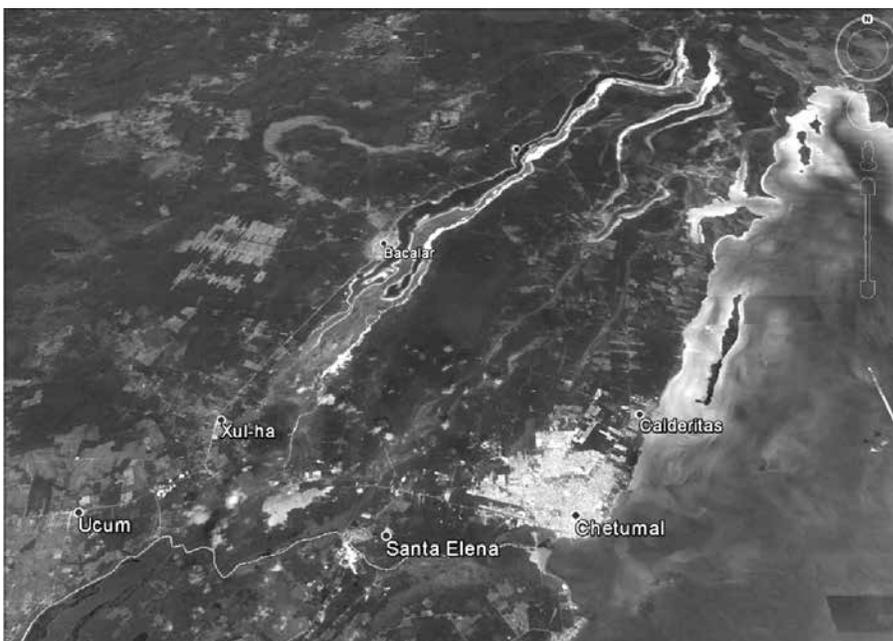
No existen antecedentes de algún estudio sobre el contenido de metales pesados aguas y sedimentos en la Laguna de Bacalar y menos en el caracol *Pomacea flagellata* Say, 1827 o chivita, motivo de este estudio, el cual pretende investigar si estos organismos presentan contenido de metales que rebasen las normas mexicanas e internacionales y que su consumo constituya un riesgo para la salud el consumidor.

Metodología

La Laguna de Bacalar está ubicada en las coordenadas 18° 40' 47'' N; 88° 23' 05'' W a un costado del pueblo de Bacalar, a unos 35 km al norte de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo (Figura 2). Es una enorme extensión de aguas poco profundas, con arena blanca y muy suave. Tiene una altitud de 10 metros sobre el nivel del mar. Esta Laguna es parte de un sistema Lagunar de aproximadamente 55 kilómetros de largo, que se comunica con la Bahía de Chetumal por medio del Río Hondo y el estero de Chaac (Pueblos de México, 2012).

Figura 2

Ubicación de la Laguna de Bacalar en el sur de Quintana Roo. Sufre contaminación proveniente de actividades de agricultura y ganadería, pero principalmente por la falta de drenaje, lo que incide negativamente en la calidad del agua de la Laguna.



Sitos de Muestreo

En el año 2014, se estableció un diseño para el muestreo de moluscos y sedimentos en tres puntos de la Laguna. El criterio para la ubicación de la red de estaciones de muestreo se basó en la ubicación de los balnearios principales y puntos con mayor descarga de aguas pluviales, considerando que estos puntos son paralelos a la zona centro del área urbana.

Con respecto a las estaciones del año, se llevaron a cabo dos muestreos. El primero correspondió a la temporada de seca (febrero) y el segundo, a la temporada de lluvia (mayo).

Se eligieron tres sitios de muestreo ubicados geográficamente a lo largo de la orilla de la Laguna. Estos fueron:

Sitio 1. Frente al Balneario Ejidal. Se eligió porque es uno de los lugares más concurridos por los visitantes y habitantes locales. Presenta influencia directa de las descargas de aguas pluviales provenientes del área urbana de la ciudad de Bacalar.

Sitio 2. Frente al Club de Vela. Se localiza a un costado de la Terminal Marítima de los Marineros y frente al Fuerte de Bacalar.

Sitio 3. Frente al Balneario Municipal. A diferencia de los Sitios 1 y 2, es el lugar con menor presencia de visitantes.

Se tomaron muestras de moluscos y sedimentos por sitio, a una distancia de 10 metros de la línea de costa. Las muestras de sedimentos se tomaron en áreas de 20 cm de diámetro y 15 cm de profundidad mediante una Draga.

Para los estudios de contenido de metales pesados en caracol y por razones de control ecológico regional, se colectaron 26 especímenes de *Pomacea*

flagellata Say, 1827. En la temporada de seca, se colectaron cuatro organismos en el sitio 1, tres individuos en el sitio 2 y dos en el sitio 3. Tanto los organismos como los sedimentos, se colocaron en bolsas de polipropileno, previamente lavadas con ácido nítrico diluido al 10%, siguiendo el criterio propuesto por Word y Mearns, 1979.

La temperatura, oxígeno disuelto (OD), pH y conductividad se determinaron “*in situ*”. La digestión del tejido de los organismos se realizó por Digestión Húmeda, según la metodología establecida en la norma ISO-11466 (1995) y se analizó por Espectroscopía de Absorción Atómica, según lo reportado por Perkin-Elmer (1996).

Los análisis de metales pesados (Hg, Cd, Pb y Zn) se efectuaron utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) marca Varian, modelo AA 220, equipado con llama aire/acetileno y generador de hidruros de la marca VGA 77 (vapor frío).

Resultados y Discusiones

Metales pesados en *Pomacea flagellata* Say, 1827

En la Tabla 1, se pueden observar los resultados del contenido de metales pesados (Hg, Pb y Cd) obtenidos en las muestras de moluscos recolectados en la temporada de seca. Para el Hg, podemos observar que todas las muestras analizadas arrojaron valores que no rebasan los LMP de la norma nacional mexicana NOM 129-SSA1-1995, donde se establece que el Hg no debe rebasar los valores de 1 Qg/g. En el sitio S2C1 (0.8 Qg/g) se observó el valor más elevado en concentración del metal Hg. Comparando los valores de Hg con el límite aceptable propuesto por la Comunidad Europea (CE) (1998) que es de 0.5-1 Qg/g vemos que más de la mitad de las muestras rebasan dicho estándar.

SECA	Contenido (Qg/kg)		
Muestra	Hg	Pb	Cd
S1C1	0.6	0.29	0.005
S1C2	0.7	0.28	0.011
S1C3	0.3	0	0.003
S1C4	0.7	0.27	0.008
S2C1	0.8	0.22	0.012
S2C2	0.2	0.48	0.007
S2C3	0.4	0.17	0.006
S3C1	0.5	0.32	0.007
S3C2	0.6	0.29	0.009

Tabla 1

Contenido de metales pesados en *Pomacea flagellata* en temporada de seca.

Para el Pb, en todas las muestras se obtuvo un resultado que no rebasa los LMP de acuerdo a la NOM (1995) que establece un valor para el Pb de 1 Qg/g en productos de la pesca. El valor más elevado del metal Pb en los moluscos fue en el sitio S2C2 (0.48 Qg/g). La CE (2005) establece que el LMP de Pb en músculo de peces comerciales es de 0.2 Qg/g, mientras que para la FAO (1983) y para la FAO/WHO (1989) es de 0.5 Qg/g.

Para el Cd, los valores experimentados en todas las muestras se mantuvieron por debajo del que indica la NOM (1995) (0.5 Qg/g) y debajo del límite aceptable que proponen la CE (2005) y la FAO/WHO (1989) para metales pesados en músculo de pescados, que es de 0.05 y 0.5 Qg/g respectivamente. El metal Zn no se pudo analizar, debido a que la lámpara no fue detectada por el equipo de Espectroscopia de Absorción Atómica.

En la Tabla 2, se pueden observar los resultados en las muestras de *Pomacea flagellata*, correspondientes a la temporada de lluvia. Para el Hg podemos observar que sólo una muestra (S3C4= 1.4 Qg/g) rebasa el LMP por la NOM 129-SSA1-1995, donde establece que el Hg no debe rebasar los valores de 1 Qg/g. Sin embargo, comparando los valores de Hg con el límite aceptable propuesto por la Comunidad Europea (CE) (1998) que es de 0.5-1 Qg/g vemos que todas las muestras rebasan dicho estándar. La concentración más baja del Hg se presentó en dos muestras del Sitio 1 (S1C3 y S1C2) y una muestra del Sitio 3 (S3C1) con una concentración de 0.5 Qg/g cada una.

Tabla 2

Contenido de metales pesados en molusco en temporada de seca 2014.

LLUVIA	Contenido (µg/kg)		
	Hg	Pb	Cd
Muestra			
S1C1	0.8	0.37	0.01
S1C2	0.5	0.52	0.013
S1C3	0.5	0.62	0.014
S2C1	0.8	0.52	0.011
S2C2	0.7	0.38	0.012
S2C3	0.9	0.63	0.011
S2C4	0.6	0.5	0.01
S3C1	0.5	0.67	0.014
S3C2	0.8	0.42	0.017
S3C3	0.8	0.57	0.013
S3C4	1.4	0.5	0.02

Para el Pb podemos observar que en todas las muestras se obtuvo un resultado que no rebasa los LMP por la NOM anteriormente mencionada, que establece un valor para el Pb de 1 Qg/g en productos de la pesca. El valor más elevado del metal Pb en el molusco se encontró en el sitio S3C1 (0.67 Qg/g). Considerando los LMP para el Pb por la Comunidad Europea (2005), la FAO (1983) y la FAO/WHO (1989), donde establecen la concentración límite de 0.2, 0.5 y 0.5 Qg/g respectivamente, observamos que los metales sobrepasan esas concentraciones.

Para el Cd los valores experimentados en todas las muestras se mantuvieron por debajo de lo que indica la NOM (1995) (0.5 Qg/g) y la FAO/WHO (1989) (0.5 Qg/g). Al igual que con el mercurio, la muestra S3C4 presenta la mayor concentración (0.2 Qg/g). Se observa que las mayores concentraciones para los tres metales en *Pomacea flagellata* se presentaron en la temporada de lluvia.

Metales pesados en sedimento

Los resultados del análisis de metales pesados (Hg, Pb, Cd y Zn) en sedimento para la temporada de seca se muestran en la Tabla 3.

SECA, 2014	Contenido ($\mu\text{g}/\text{kg}$)		
Muestra sedimento	Hg	Pb	Cd
S1S1	14.20	1.85	0.136
S2S1	13.43	1.51	0.133
S3S1	15.20	1.51	0.144

Tabla 3

Contenido de metales pesados en sedimento en la temporada de seca

Para el Hg, las concentraciones obtenidas en todas las muestras de ambas temporadas rebasaron los LMP por las normas nacionales mexicanas y las internacionales.

Para el Pb, las concentraciones fluctuaron entre 1.51 y 1.85 Qg/g para la temporada de seca. La concentración más alta (1.85 Qg/g) correspondió a la réplica de sedimento obtenida del Sitio 1. Todas las concentraciones rebasan el LMP establecido por la NOM-001-ECOL-1993 para estuarios, tanto en promedio mensual (0.2 Qg/g) como en promedio diario (0.4 Qg/g).

Con respecto al Cd, los valores de concentración oscilaron entre 0.133 y 0.144 Qg/g. La mayor concentración se encontró en el Sitio 3 (0.144 Qg/g), mientras que en el Sitio 2 se registró la concentración más baja (0.133 Qg/g). Los valores encontrados superan el LMP en la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-ECOL-1993), que establece el valor de hasta 0.1 Qg/g en promedio mensual para aguas de estuarios.

En la Tabla 4, los resultados correspondientes a las concentraciones de metales pesados en sedimento de la Laguna de Bacalar durante la temporada de lluvia, se muestran a continuación.

LLUVIA 2014	Contenido ($\mu\text{g}/\text{kg}$)		
Muestra sedimento	Hg	Pb	Cd
S1S1	12.21	1.8	0.123
S2S1	11.31	1.91	0.135
S3S1	10.65	2.17	0.128

Tabla 4

Contenido de metales pesados en sedimento en la temporada de lluvia

Para el Hg, al igual que en la temporada de seca, los valores de este elemento rebasaron los LMP. Fluctuando los valores de 10.65 a 12.21 Qg/g, lo cual significa que existe una concentración elevada de este metal en los tres sitios estudiados. Con respecto al Pb y al Cd, los valores obtenidos rebasan el LMP que establece la norma mexicana NOM-001-ECOL-1996, el cual indica que la concentración máxima en promedio mensual para plomo y cadmio en aguas costeras de recreación es de 1 y 0.4 Qg/g respectivamente.

Análisis de componentes principales (ACP)

A continuación se representan los resultados del análisis de componentes principales (ACP) generados con XLSTAT (Addinsoft, 2014), utilizando las 26 muestras de caracol, el contenido de metales pesados y los parámetros fisicoquímicos evaluados.

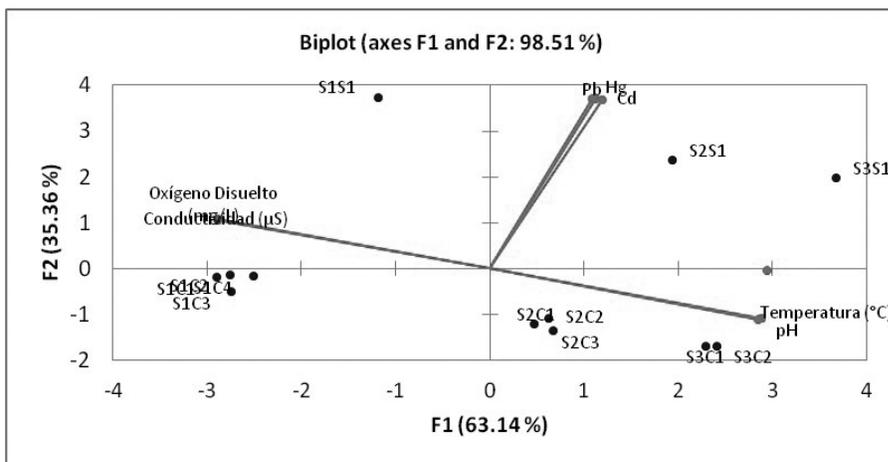


Figura 3

Análisis de Componentes Principales correspondiente a la temporada de seca.

En la Figura 3, podemos observar que el ACP correspondiente a la temporada de seca contiene un 98.51% de la varianza total. El primer componente principal (CP-I) muestra una varianza de 63.14% y la correlación de los metales (Hg, Pb y Cd), el pH, la temperatura y las muestras S2S1, S2C1, S2C2, S2C3, S3S1, S3C1 y S3C2. Según (Tsai L.J., *et al.* 1998) cuando los metales están agrupados, indican también que tienen la misma fuente de contaminación. El segundo componente principal (CP-II) representa una varianza de 35.36% y está definido por la conductividad, el oxígeno disuelto y las muestras de caracol y sedimento correspondientes al Sitio 3 (S3S1, S3C1, S3C2, S3C3 y S3C4).

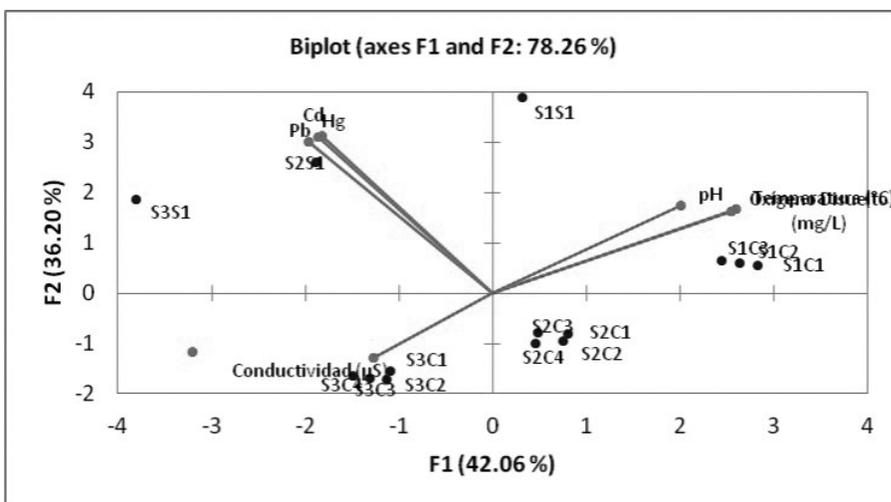


Figura 4

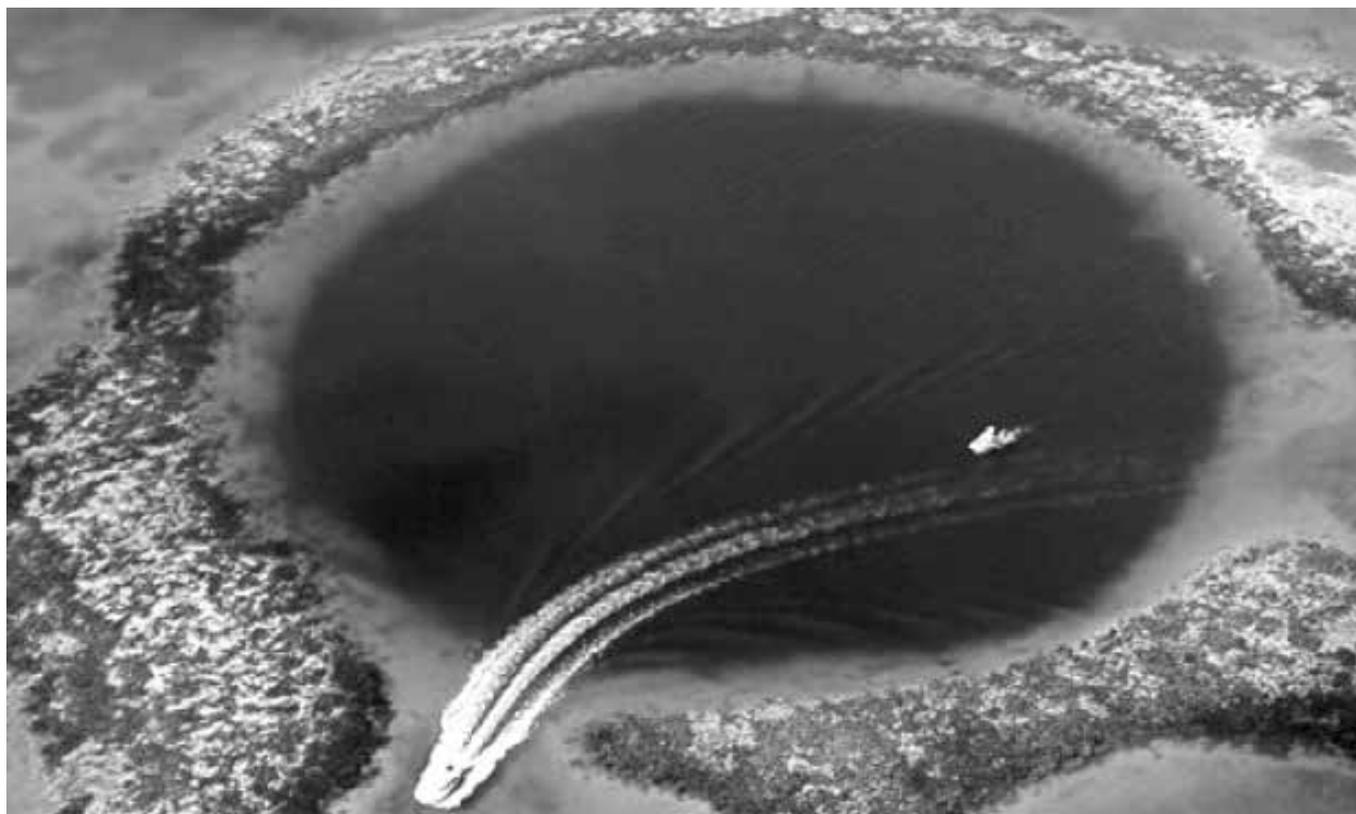
Análisis de Componentes Principales (ACP) correspondiente a la temporada de lluvia.

En la Fig. 4 se muestra el ACP correspondiente a la temporada de lluvia y presenta una varianza total de 78.26% distribuido en sus dos componentes, ACP-I y ACP-II, con una varianza de 42.06% y 36.20% respectivamente. El primer componente principal (CP-I), está definido por 3 los parámetros pH, Temperatura y OD, el cual explica el 42.06 % de la varianza total. El segundo componente principal (CP-II) está definido por los metales pesados Hg, Pb y Cd y el parámetro Conductividad y explica el 36.20% de la varianza total. En el primer componente principal (CP-I), correlacionan las muestras S1S1, S1C1, S1C2, S1C3, S2C1, S2C2, S2C3 y S2C4 en estas muestras se presentan mayores concentraciones de los metales de esta temporada e inclusive los valores más elevados de los metales pesados estudiados.

Conclusiones

Las concentraciones de Hg, Pb y Cd en *Pomacea flagellata* en temporada de seca no rebasaron el LMP que establece las normas mexicanas. Sin embargo, el Hg supera el valor de referencia internacional que marca la CE, y el Pb se encuentra dentro del límite aceptable la FAO y la FAO/WHO. Las concentraciones más elevadas para cada metal se obtuvieron en muestras del Sitio 2. Las concentraciones de los metales Pb y Cd son mayores en temporada de lluvia que en temporada de seca.

Las concentraciones de los metales Hg, Pb y Cd en las réplicas de sedimento, obtenidas en los sitios de muestreo en la Laguna de Bacalar, fueron muy superiores al LMP que establece la NOM (1996). En general, se observó un incremento en el contenido de Pb y Cd en la temporada de lluvia con respecto a las concentraciones obtenidas en la temporada de seca.



Recomendaciones

Se recomienda realizar un análisis espacio temporal en sedimento y columna de agua en la Laguna de Bacalar para obtener información más precisa que permita confirmar la contaminación por Hg, Pb y Cd en esta zona.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado en la convocatoria 2014 “Apoyo a Proyectos Internos de Investigación de la División de Ciencias e Ingeniería, bajo el proyecto UQROO/DCI/PI/02/14”

Referencias

- Addinsoft (2014). XLSTAT (Versión 2014.3.01) [Programa de computación]. USA: Addinsoft.
- EC, (2005). European Community. Commission Regulation No 78/2005 (pp. L16/43-L16/45). *Official Journal of the European Union* (20.1.2005).
- FAO, (Food and Agriculture Organization), (1983). Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products, *FAO Fishery Circular* No. 464, pp. 5-100.
- FAO/WHO (1989). Evaluation of certain food additives and the contaminants mercury, lead and cadmium, WHO *Technical Report*, Series No. 505.
- González Bucio, J. L., Carrión Jiménez, J. M., Yam Gamboa, O., y Díaz López, C. (2008). Contaminación de la Bahía de Chetumal por metales pesados, materia orgánica y nutrientes producidos por las descargas de aguas residuales municipales. *Caos Conciencia*, pp. 5-11.
- International Standard Soil Quality, ISO 11466 (1995). Soil quality-Extraction of trace elements soluble in aqua regia. Switzerland: ISO.
- Marcovecchio, J., Moreno, V., y Pérez, A. (1991). Metal accumulation in tissues of sharks from de Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Marine Environmental Research*, pp. 263-274.
- NOM-001-ECOL-1996 (1996). LMP de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. México: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.
- NOM-129-SSA1-1995 (1995). Bienes y servicios. Productos de la pesca: secos- salados, ahumados, moluscos cefalópodos y gasterópodos frescos-refrigerados y congelados. Disposiciones y especificaciones sanitarias. México: Secretaría de Salud.
- Perkin-Elmer (1996). Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy. USA: The Perkin-Elmer Corporation.
- Rangel Ruiz, J. L., Gamboa Aguilar, J., & Ulises Medina, R. (2003). Pomacea flagellata (Say, 1827) Un gigante desconocido en México. KUXULKAB´ Revista de divulgación de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 5-9.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA). (21 de Marzo de 2011). Decreto mediante el cual se declara como área natural la región conocida como parque Laguna de Bacalar con la categoría de parque ecológico estatal ubicada en la localidad de Bacalar, municipio de Bacalar, estado de Quintana Roo. Obtenido de http://sema.qroo.gob.mx/sistemas/transparencia/utaippe_transparencia/UTAIPPE_ART.%2015/
- Tsai, L.J., Yu, K.C., Chang, J.S. y Ho, S.T. (1998). Fractionation of Heavy metals in Sediment Cores from the EII-Ren River Taiwan. *Water Science Technology* 37, 217-224.
- Word, J.Q., y Mearns, A.J. (1979). 60- meter control survey off southern California. Tech. Mem. C229-TR. South. Calif. Coastal Water Res. Proj., El Segundo, CA. 58 pp. García E., Calva G. et al., a. Variabilidad de la expresión de la hormona de crecimiento humano en cultivos de raíces transformadas de Brassica oleracea var. italica. XVII National congress of Biochemical Engineering, VI International congress of Biochemical Engineering, VIII Biomedicine and Molecular Biotechnology Meeting. Acapulco, Guerrero, México. Trabajo: BML488FRE20100216. 2010.
- García E., Calva G. et al., b. Expression of the human growth hormone in hairy roots cultures of Brassica oleracea var. italica. XV International Scientific Congress CNIC'2010. Organized by the National Center for Scientific Research. Havana, Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas* 41 (Número Especial): PNA050 ISSN 0253-5688. 2010.
- Staub J. et al., “High-yield production of a human therapeutic protein in tobacco chloroplasts”. *Nat Biotechnol.* 18: 330-338, 2000.
- Russell D. et al., “Host limits to accurate human growth hormone production in multiple plant systems”. *Biotechnol Bioeng.* 89:775-782, 2005.
- Kim T. et al., “Expression of human growth hormone in transgenic rice cell suspension culture”. *Plant Cell Rep.* 27:885-891, 2008.
- Kim T. et al., “Reduced protease activity in transformed rice cell suspension cultures expressing a proteinase inhibitor”. *Protein Expr. Purif.* 53:270-274, 2007.
- Xu Z. et al., “Inhibition of endogenous trypsin- and chymotrypsin-like activities in transgenic lettuce expressing heterogeneous proteinase inhibitor SaPIN2a”. *Planta* 218, 623-629, 2004.