

Research Article

Metales pesados en tejido muscular del bagre *Ariopsis felis* en el sur del golfo de México (2001-2004)

Felipe Vázquez¹, Tomás R. Florville-Alejandre^{2,3}, Miguel Herrera^{3,4} & Luz María Díaz de León¹

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria, México

²Grupo Diagnóstico y Control de la Contaminación, Sede de Investigación Universitaria, Universidad de Antioquia, Calle 62 No. 52-59, Oficina 232, Medellín, Colombia

³Universidad Católica de Oriente, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Ambiental, Carrera 46 N° 40B-50, Bloque E, Oficina E-2, Rionegro, Colombia

⁴PEMEX-Exploración-Producción, Región Marina Noreste, Gerencia Regional de Seguridad Industrial y Protección Ambiental, Calle 25, Edificio Cantarell 3^{er} Piso, Ciudad del Carmen, Campeche, 24130, México

RESUMEN. Se analizó el contenido de metales pesados en tejido muscular del bagre, *Ariopsis felis* en el sur del golfo de México durante el periodo 2001-2004. La investigación fue efectuada buscando establecer un marco de referencia ambiental para este organismo. La concentración metálica siguió el orden: Hg < Co < Pb < Ni < V < Cr. Fue observado un decremento en contenido de cobalto y vanadio, incremento en contenido de níquel, mercurio y cromo, y ausencia de estos comportamientos para contenido de plomo. Análisis de varianza de una sola vía confirman variación temporal significativa sólo en cobalto, mercurio, plomo y vanadio. Se determinaron coeficientes de correlación lineal significativos ($p \leq 0,05$) para Co-V, Cr-Ni, Cr-Pb, Co-Hg, Ni-V y V-Pb. Las tres primeras asociaciones mostraron correlación positiva y las restantes correlación negativa. El análisis factorial reveló agrupamiento de los metales estudiados en función de su origen. Niveles de metales inferiores a los establecidos en normas nacionales e internacionales fueron encontrados en tejido muscular de *A. felis* del sur del golfo de México.

Palabras clave: *Ariopsis felis*, bagre, metales, normas ambientales, sonda de Campeche, golfo de México.

Heavy metals in muscular tissue of the catfish, *Ariopsis felis*, in the southern Gulf of Mexico (2001-2004)

ABSTRACT. We analyzed the heavy metal content in the muscular tissue of the catfish, *Ariopsis felis*, in the southern Gulf of Mexico between 2001 and 2004. The research was done in order to establish an environmental frame of reference for this organism. The metal concentration was as follows: Hg < Co < Pb < Ni < V < Cr. Cobalt and vanadium contents were found to decrease and those of nickel, mercury, and chromium to increase; however, neither of these trends was observed for the lead content. One-way analyses of variance confirm significant temporal variation only for cobalt, mercury, lead, and vanadium. Significant linear correlation coefficients ($p \leq 0.05$) were found for Co-V, Cr-Ni, Cr-Pb, Co-Hg, Ni-V, and V-Pb. The first three associations showed positive correlations, whereas the remaining ones had negative correlations. A factor analysis grouped the studied metals depending on their origins. The metal levels found in the muscular tissue of *A. felis* from the southern Gulf of Mexico were lower than those set by national and international regulations.

Keywords: *Ariopsis felis*, catfish, metals, environmental standards, Campeche Sound, Gulf of Mexico.

INTRODUCCIÓN

En el sur del golfo de México se localiza la sonda de Campeche, donde se desarrollan actividades petroleras y de pesca en su área marina y zona costera. Desde hace más de 10 años la captura pesquera en esta región ha disminuido como consecuencia de la sobrepesca, deforestación de zonas de manglar, aumento del tráfico marítimo e incremento de contaminantes, incluidos los metales pesados. Estudios recientes (Ponce-Velez & Botello, 2006) indican que la concentración de metales pesados en sedimentos del sur del golfo de México, Veracruz y Tabasco (Tabla 1), se encuentra dentro del rango reportado para regiones costeras industrializadas del golfo de Arabia, Jordania, Kuwait e Inglaterra. Sus fuentes principales son depósitos minerales y afloramientos crónicos marinos de hidrocarburos (fuentes naturales), descargas municipales, industria química y petrolera (fuentes antropogénicas). En la actualidad, se implementan acciones de protección ambiental en esta región y se visualiza la explotación de especies alternas para consumo humano. Aunque el bagre *Ariopsis felis* no es favorito para la pesca deportiva o alimento, su amplia distribución en la zona costera y abundante presencia en las capturas (Muncy & Wingo, 1983), lo posicionan como una especie con potencial interés comercial. Al momento, la pesquería de bagre en la región se encuentra aprovechada al máximo sostenible sólo en el estado de Tabasco, alcanzando una captura anual aproximada de 4.000 ton (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2004). Contaminantes persistentes, bioacumulables y tóxicos han sido encontrados en otras especies de bagre (Achura & Osakwe, 2003; Adhikari, 2003; Cizdziel *et al.*, 2003; Elia *et al.*, 2003; Shukla *et al.*, 2003; Viljoen *et al.*, 2003; Agbozu *et al.*, 2007). En *A. felis* su presencia se encuentra poco estudiada. Reconociendo el riesgo para la salud humana que este tipo de contaminación genera, en el presente trabajo se analizó el contenido de metales pesados: cromo, níquel, cobalto, vanadio, mercurio y plomo, presentes en el tejido muscular de *A. felis* durante el período 2001-2004. La investigación se efectuó buscando establecer un marco de referencia ambiental para esta especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Especímenes de bagre *Ariopsis felis* fueron colectados con el B/O "Justo Sierra" entre los años 2001 y 2004. En cada punto de muestreo (Fig. 1) se efectuaron capturas diurnas y nocturnas con una red de arrastre de 12 m de abertura de trabajo y malla de 4,5 cm. Se seleccionaron 8 a 10 especímenes dependiendo de su peso.

Después de la colecta, los organismos fueron identificados y su disección se realizó a bordo para obtener muestras de tejido muscular. Las muestras se almacenaron en frascos de teflón a 4°C hasta su posterior análisis. En el laboratorio las muestras fueron secadas a 35°C y se homogeneizaron en un mortero de teflón. Se pesó 0,5 g de muestra y se colocó en un vaso de digestión, se agregaron 5 mL de HNO₃ suprapur Merck, 1,5 mL de HCl suprapur Merck y 10 mL de agua tipo Milli-Q-Gradiente A10-Millipore para realizar la digestión en un horno de microondas (MARS-5, CEM) durante 90 min (Vázquez *et al.*, 2001).

Para el análisis se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer, Mod. Analyst 700, con horno de grafito Mod. HGA-850. Se usaron estándares de referencia Perkin Elmer para cada metal. Un estándar certificado (National Institute of Standards Technology, N°2977) fue analizado siguiendo el mismo procedimiento de digestión y análisis. Los valores del material de referencia se encontraron dentro del 9,0% respecto de la muestra certificada. La precisión para cada metal se encontró en el intervalo 5,0-9,0%. Los límites de detección ($\mu\text{g g}^{-1}$) fueron: Co (0,04583), Cr (0,02214), Hg (0,006134), Ni (0,02851), Pb (0,0032919) y V (0,028205).

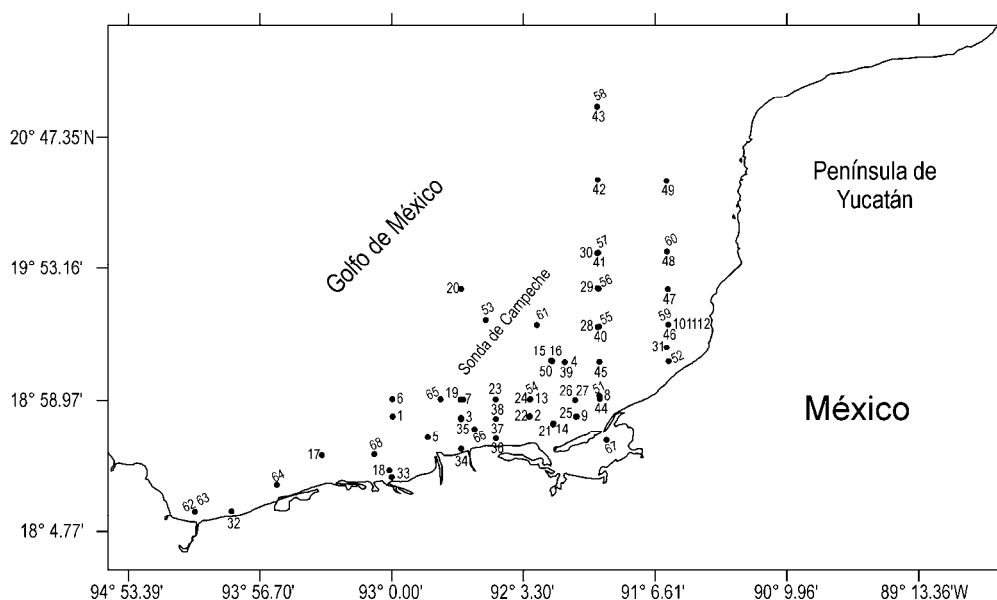
RESULTADOS

El contenido de metales pesados en tejido muscular de *Ariopsis felis* del sur del golfo de México se presenta en la Figura 2. La concentración de cobalto fluctuó entre 0,051 y 0,857 $\mu\text{g g}^{-1}$, y su promedio máximo (0,492 $\mu\text{g g}^{-1}$) se registró en el año 2002. En los otros años la concentración media se presentó entre 0,098 y 0,292 $\mu\text{g g}^{-1}$. En el período 2001-2004 ésta fue igual a 0,243 $\mu\text{g g}^{-1}$. La mayor diferencia entre sus medidas de tendencia central (0,039 $\mu\text{g g}^{-1}$) y la máxima desviación estándar (0,224 $\mu\text{g g}^{-1}$) se registraron en el 2001. La mayor proporción de este metal respecto al contenido metálico total (19,5%) se detectó en el 2002 y su menor proporción (3,4%) un año más tarde (Fig. 3).

El contenido de cromo varió entre 0,154 y 3,994 $\mu\text{g g}^{-1}$. En el 2003 se registró su promedio máximo (1,339 $\mu\text{g g}^{-1}$) y máxima desviación estándar (1,222 $\mu\text{g g}^{-1}$). Una variación de la concentración media entre 0,438 y 1,078 $\mu\text{g g}^{-1}$ se observó en los otros años. Para el período 2001-2004 esta concentración fue igual a 0,971 $\mu\text{g g}^{-1}$. La mayor diferencia entre sus medidas de tendencia central (0,698 $\mu\text{g g}^{-1}$) se presentó en el 2003. La mayor proporción de cromo respecto al contenido metálico total (42,7%) se registró en el 2002 y su menor proporción (16,0%) el año anterior (Fig. 3).

Tabla 1. Contenido de metales pesados en sedimento reciente del sur del golfo de México ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco).**Table 1.** Heavy metal content in recent sediment from southern Gulf of Mexico ($\mu\text{g g}^{-1}$ dry weight).

Área	Período/Año	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	V	Referencia
Sedimento costero								
Tabasco, S golfo de México	1999-2000		29		91	6,4		Ponce-Velez & Botello (2006)
Veracruz, S golfo de México	1999-2000		16,3		18	15,2		Ponce-Velez & Botello (2006)
Sedimento marino								
Sonda de Campeche, SE golfo de México	1988-1990		66-366		25-175	18		Rosales-Hoz <i>et al.</i> (1992, 1994)
Sonda de Campeche, SE golfo de México	1998				104	11,1		Vázquez & Sharma (2004)
Sonda de Campeche, SE golfo de México	2001	589,4	28,4	1,0	38,7	42,7	8,4	PEMEX-UNAM (2003)

**Figura 1.** Sonda de Campeche, sur del golfo de México. Estaciones de muestreo, año 2001: estaciones 1 a 14; año 2002: estaciones 15 a 31; año 2003: estaciones 32 a 50; año 2004: estaciones 51 a 68.**Figure 1.** Campeche Sound, southern Gulf of Mexico. Sampling stations, year 2001: stations 1 to 14; year 2002: stations 15 to 31; year 2003: stations 32 to 50; year 2004: stations 51 to 68.

La concentración de mercurio varió entre los límites $< 0,006$ y $0,157 \mu\text{g g}^{-1}$. En el 2004 se alcanzó el promedio máximo ($0,083 \mu\text{g g}^{-1}$). El tiempo restante el contenido medio se encontró entre $< 0,006$ y $0,069 \mu\text{g g}^{-1}$, y para el período 2001-2004 fue igual a $0,048 \mu\text{g g}^{-1}$. La mayor diferencia entre sus medidas de tendencia central ($0,014 \mu\text{g g}^{-1}$) y desviación estándar

máxima ($0,038 \mu\text{g g}^{-1}$) ocurrió en el 2003. La mayor proporción respecto al contenido metálico total (3,5%) se determinó en el año 2004 y la menor proporción (0,2%) dos años antes (Fig. 3).

El contenido de níquel se encontró en el intervalo $0,031$ a $3,047 \mu\text{g g}^{-1}$. El promedio máximo ($0,918 \mu\text{g g}^{-1}$) y máxima desviación estándar ($0,834 \mu\text{g g}^{-1}$) se

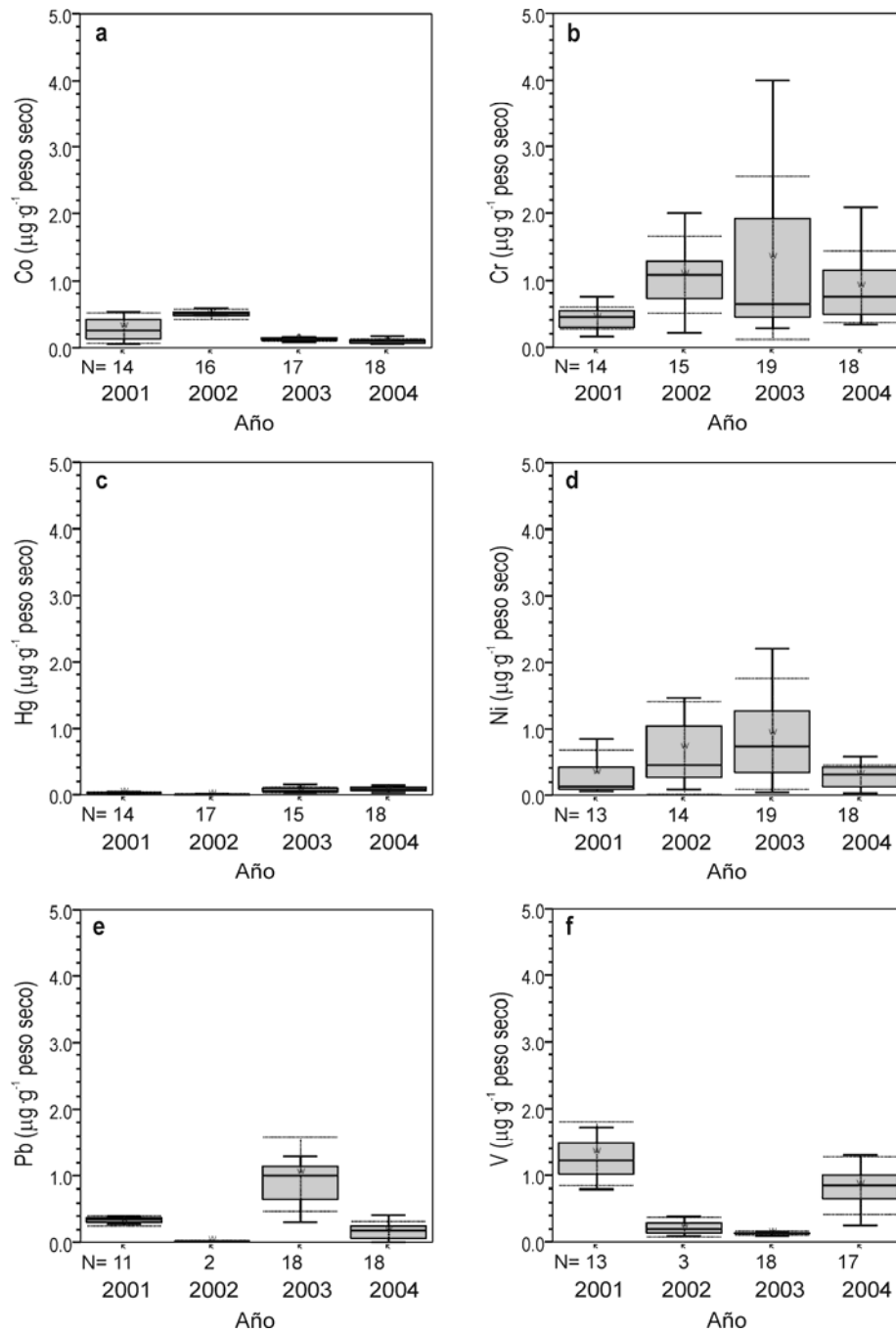


Figura 2. Contenido de metales pesados en tejido muscular de *Ariopsis felis*, sonda de Campeche, sur del golfo de México (2001-2004): a) Cobalto, b) Cromo, c) Mercurio, d) Níquel, e) Plomo, f) Vanadio. El círculo negro muestra el valor para la media. La línea punteada indica la desviación estándar. La caja representa el recorrido intercuartílico que contiene el 50% de los valores. La línea dentro de la caja representa el valor de la mediana. Las líneas continuas paralelas fuera de la caja representan los valores más altos y bajos, excluyendo valores extremos y atípicos.

Figure 2. Heavy metals content in muscular tissue of *Ariopsis felis*, Campeche Sound, southern Gulf of Mexico (2001-2004): a) Cobalt, b) Chromium, c) Mercury, d) Nickel, e) Lead, f) Vanadium. Mean value is identified by a black dot. Dashed line show standard deviation. Box represents interquartile range which contains 50% of values. Line within the box denotes median value. Whiskers lines extend from the box to the highest and lowest values, excluding extremes and outliers.

registraron en el 2003. El tiempo restante se detectó una variación de la concentración media en el intervalo 0,286-0,710 $\mu\text{g g}^{-1}$, y en el período 2001-2004 ésta fue igual a 0,572 $\mu\text{g g}^{-1}$. La mayor diferencia entre sus medidas de tendencia central (0,258 $\mu\text{g g}^{-1}$) se registró en el 2002. La mayor proporción de níquel respecto al contenido metálico total (28,1%) ocurrió ese mismo año y la menor proporción (11,6%) un año antes (Fig. 3).

La concentración de plomo se encontró entre 0,007 y 2,462 $\mu\text{g g}^{-1}$. En el 2003 se determinó su promedio máximo (1,031 $\mu\text{g g}^{-1}$) y máxima desviación estándar (0,555 $\mu\text{g g}^{-1}$). En otros años la concentración media varió entre 0,016 y 0,326 $\mu\text{g g}^{-1}$, y en el período 2001-2004 fue igual a 0,520 $\mu\text{g g}^{-1}$. La mayor diferencia entre sus medidas de tendencia central (0,033 $\mu\text{g g}^{-1}$) ocurrió en el 2003. La mayor proporción respecto al contenido metálico total (28,5%) fue detectada ese mismo año y su menor proporción (0,6%) un año antes (Fig. 3).

El contenido de vanadio varió entre 0,560 y 2,642 $\mu\text{g g}^{-1}$. El promedio máximo (1,330 $\mu\text{g g}^{-1}$) y máxima desviación estándar (0,478 $\mu\text{g g}^{-1}$) se alcanzó en el 2001. La mayor diferencia entre sus medidas de tendencia central (0,107 $\mu\text{g g}^{-1}$) se registró ese mismo año. La concentración media en los otros años se presentó entre 0,133 y 0,849 $\mu\text{g g}^{-1}$, y en el período 2001-2004 fue igual a 0,682 $\mu\text{g g}^{-1}$. La mayor proporción de este metal respecto al contenido metálico total (48,7%) se registró en el 2001 y la menor proporción (3,7%) dos años más tarde (Fig. 3).

DISCUSIÓN

El estudio de especies de bagre, incluido *Ariopsis felis*, tiene importancia trascendental. Los bagres constituyen uno de los órdenes más grandes de vertebrados. Una de cada cuatro especies de peces de agua dulce corresponde a un bagre. Una de cada 10 especies de peces marinos, estuarinos y de agua dulce, es un bagre. Una de cada 20 especies de vertebrados es un bagre. Entre 873 y 1.750 especies de bagre aún deben ser descritas, y se estima que el número total de especies que será reconocido en pocos años oscilará entre 3.600 y 4.500 (Page, 2006). Adicionalmente, su distribución geográfica es global, América, Asia, África, Europa y Australia (Burgess, 1989). Sumada a su importancia ecológica (Baras & Laleye, 2003; Trajano, 2003; Eggleton & Schramm, 2004), las especies de bagre adquieren relevancia adicional por su capacidad para ser utilizadas como centinela de la contaminación

ambiental (Digiulio *et al.*, 1993; Leadly *et al.*, 1999; Florville-Alejandre & Vázquez-Gutiérrez, 2006). Su amplio uso como alimento humano (Baker, 1988; Ladewig & Logan, 1992) se agrega a estas particularidades. En este campo, es notoria la carencia de normatividad para ciertos metales pesados.

No existen normas nacionales (México, Unión Europea, USA) o internacionales que regulen el contenido de cobalto o vanadio en tejido muscular de peces (Tabla 2). La concentración promedio de cobalto hallada en este estudio (0,243 $\mu\text{g g}^{-1}$) es inferior (2,8%) a la reportada por Smith & Carson (1981) en peces, y menor (87,9%) a la encontrada en bagre negro (*Ameiurus melas*) por Moeller *et al.* (2003). El contenido medio de vanadio (0,682 $\mu\text{g g}^{-1}$) es superior (36,4%) al publicado por estos últimos investigadores (Moeller *et al.*, 2003) en el bagre negro (*Ameiurus melas*) y menor (95,3%) al reportado por Gamble *et al.* (1988) en peces.

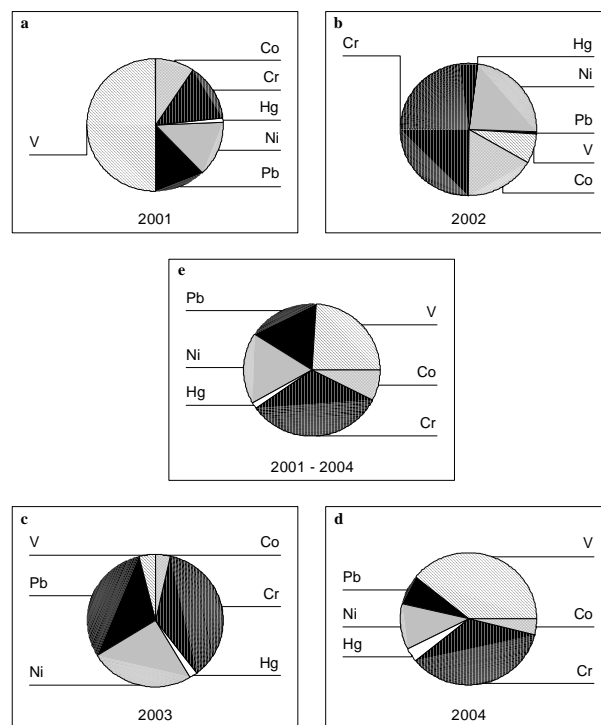


Figura 3. Contenido medio proporcional de metales pesados en tejido muscular de *Ariopsis felis*, sonda de Campeche, sur del golfo de México: a) año 2001, b) año 2002, c) año 2003 d) año 2004, e) período 2001-2004.

Figure 3. Proportional mean heavy metals content in muscular tissue of *Ariopsis felis*, Campeche Sound, southern Gulf of Mexico: a) year 2001, b) year 2002, c) year 2003 d) year 2004, e) period 2001-2004.

Tabla 2. Normatividad nacional (México, Unión Europea, Estados Unidos), internacional y estudios diversos relativos al contenido de metales pesados en peces ($\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco).

Table 2. National (Mexico, European Union, United States of America), international standards and various research works related to heavy metal content in fishes ($\mu\text{g g}^{-1}$ dry weight).

Parámetro	Co	Cr	Hg	Ni	Pb	V	Referencia
Normatividad internacional							
Pescado ¹		5,0 ²	2,5 ²		10,0 ²		Nauen (1983)
Filete de pescado		17,5 ²		1,0 ²	10,0 ²		Nicola <i>et al.</i> (1987)
Normatividad nacional							
México							
Pescado fresco, refrigerado y congelado			5,0 ²		5,0 ²		Secretaría de Salud (1995a)
Pescado en conserva			5,0 ²		5,0 ²		Secretaría de Salud (1995b)
Estados Unidos de Norteamérica							
Pescado ¹			5,0 ^{1,6}				USFDA (2005)
Unión Europea							
Carne de pescado			2,5 - 5,0 ^{2,7}		1,0-2,0 ^{2,7}		European Union (2005)
Estudios diversos							
Peces	0,01 - 0,25 ²						Smith & Carson (1981)
Peces		4,0					Eisler (1986)
Peces						14,45 ²	Gamble <i>et al.</i> (1988)
Peces ³				0,1 - 10 ²			WHO (1991)
Pescado ⁴			2,5 - 5,0 ^{2,5}				Ache <i>et al.</i> (2000)
Pescado			2,5 ²				Kawaguchi <i>et al.</i> (1999)
Especies de bagre							
<i>Ameiurus melas</i>	2,0					0,5	Moeller <i>et al.</i> (2003)
<i>Synodontis clarias</i>				0,29 - 0,98	0,38 - 0,87		Agbozu <i>et al.</i> (2007)

¹Porción comestible; ²Calculado a partir del peso húmedo reportado por el autor, considerando 80% de humedad (Nauen, 1983); ³Agua no contaminada; ⁴Tejido muscular; ⁵Límite inferior: umbral para población sensible, límite superior: umbral para población en general.; ⁶Medido como metil-mercurio; ⁷Límite inferior: aplicable a todas las especies de peces, excepto a las que se aplica el límite superior, límite superior: aplicable sólo a las especies de peces indicadas en European Union (2005).

El contenido de cromo y níquel en tejido muscular de peces es regulado por normas internacionales (Nauen, 1983; Nicola *et al.*, 1987; Tabla 2). La normatividad nacional (México, Unión Europea, USA) es inexistente. Su concentración promedio en este estudio (Cr = 0,971 $\mu\text{g g}^{-1}$; Ni = 0,572 $\mu\text{g g}^{-1}$) fue inferior (Cr = 80,6-94,5%; Ni = 42,8%) a la establecida en normas internacionales. Ella no excede los valores publicados por otros investigadores (Eisler, 1986; WHO, 1991; Agbozu *et al.*, 2007). Este comportamiento es diferente para valores individuales, donde en algunos casos (Ni = 15,6%) la regulación internacional fue excedida.

El contenido de mercurio y plomo en tejido muscular de peces es normado tanto en el ámbito nacional (México, Unión Europea, USA) (Secretaría de Salud, 1995a, 1995b; European Union, 2005; USFDA, 2005; Tabla 2) como internacional (Nauen, 1983; Nicola *et al.*, 1987; Tabla 2). La concentración promedio de estos metales (Hg = 0,048 $\mu\text{g g}^{-1}$; Pb = 0,520 $\mu\text{g g}^{-1}$)

fue inferior (Hg = 98,1-99,0%; Pb = 48,0-94,8%) a la establecida por tal normatividad. Su magnitud nunca excedió la reportada por otros investigadores (Kawaguchi *et al.*, 1999; Ache *et al.*, 2000; Agbozu *et al.*, 2007). En ciertos casos los valores individuales sobrepasaron (4,1-18,4%) los límites establecidos por la Unión Europea para contenido de plomo. Esto no ocurrió en el contenido de mercurio.

El tejido muscular de *A. felis* en el sur del golfo de México mostró tendencia al aumento con respecto al tiempo en el contenido de cromo, mercurio y níquel, disminución en el contenido de cobalto y vanadio, y ausencia de estas tendencias para el contenido de plomo (Fig. 2). El análisis de varianza de una sola vía confirmó la variación temporal significativa sólo para la concentración media de cobalto, mercurio, plomo y vanadio (Tabla 3). Las diferencias temporales en el contenido promedio de cromo y níquel no fueron estadísticamente relevantes. Este comportamiento podría

Tabla 3. Diferencia entre concentraciones medias anuales de metales pesados en tejido muscular de *Ariopsis felis*, sonda de Campeche, sur del golfo de México (2001-2004).

Table 3. Statistical difference between annual averages of heavy metals concentration in muscular tissue of *Ariopsis felis*, Campeche Sound, southern Gulf of Mexico (2001-2004).

Metal	Eta ¹	Eta Cuadrada ¹
Co	0,827	0,683
Cr	0,395	0,156
Hg	0,803	0,644
Ni	0,436	0,190
Pb	0,760	0,578
V	0,822	0,675

¹Eta y Eta cuadrada son medidas de asociación obtenidas del análisis de varianza de una sola vía. Eta cuadrada es la proporción de la varianza en la variable dependiente (concentración del metal) que es explicada por las diferencias entre grupos (años). Es el cociente de la suma de cuadrados entre grupos y la suma de cuadrados total. Un valor más pequeño de Eta cuadrada significa menor diferencia estadística entre grupos (años).

indicar que las medidas de protección ambiental implementadas en las áreas productivas de las industrias locales que utilizan vanadio y cobalto han sido efectivas. Aquéllas destinadas a disminuir la concentración de plomo podrían requerir ajuste y/o reforzamiento. Las aplicadas para disminuir el contenido de cromo, mercurio y níquel probablemente deberían ser replanteadas, pero se requieren estudios adicionales para confirmar estas afirmaciones.

Se observó una correlación lineal significativa ($p \leq 0,05$) para las siguientes parejas de metales: Co-V, Cr-Ni, Cr-Pb, Co-Hg, Ni-V y V-Pb. Las tres primeras mostraron correlación positiva, las restantes negativa (Tabla 4). Los metales incorporados con mayor facilidad en el tejido muscular de *A. felis* podrían estar influyendo en rutas metabólicas, o interactuando con otros metales para favorecer su incorporación (correlación positiva) o liberación (correlación negativa). Estos efectos han sido documentados en seres humanos para ciertos metales pesados utilizados como micronutrientes (Peraza *et al.*, 1998).

Estudios previos (PEMEX-UNAM, 2003) demuestran que el contenido de cobalto y vanadio en sedimentos del sur del golfo de México es menor en áreas de influencia terrestre, vecinas a las desembocadura de ríos. Su concentración en regiones de influencia marina sin aporte fluvial y vecinas a la zona de plataformas petroleras es mayor. Se ha observado que las concen-

traciones de cromo y níquel presentan niveles superiores en áreas contiguas a aportes fluviales (influencia terrestre) (Rosales-Hoz *et al.*, 1992, 1994). Con esta base, el agrupamiento obtenido por el análisis factorial (Fig. 4), puede asociarse con el origen de los metales pesados dividiéndolos en tres bloques. El primero constituido por cromo, níquel y plomo, asociado a origen terrestre; el segundo formado por cobalto y vanadio asociado a origen marino y; el tercero, exclusivamente por mercurio con asociación inversa a origen marino. La primera componente del agrupamiento (origen terrestre) explicó el 34,9% de la variabilidad total exhibida por los resultados y la segunda (origen marino), el 26,3%.

Pruebas de normalidad empleando el coeficiente de proporción de Blom y resolución de observaciones múltiples idénticas mediante asignación del rango promedio, demostraron la existencia de poblaciones distribuidas normalmente para todos los metales.

Con fines comparativos adicionales se calcularon estadígrafos básicos a muestras de tres especies de bagre colectadas en el norte del golfo de México dentro del Programa Regional de Valoración y Moni-

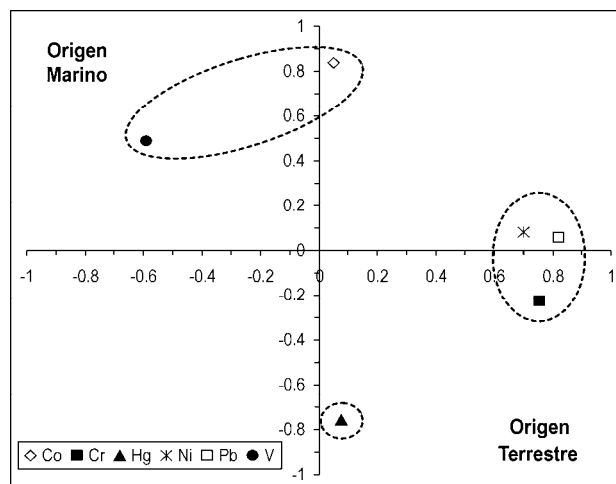


Figura 4. Análisis de factores para el contenido de metales pesados en tejido muscular de *Ariopsis felis*, sonda de Campeche, sur del golfo de México (2001-2004). Método de extracción: componentes principales. Rotación: varimax con normalización de Kaiser. Porcentaje de varianza explicada: componente 1 (origen terrestre) = 34,9; componente 2 (origen marino) = 26,3.

Figure 4. Factor analysis for heavy metals content in muscular tissue of *Ariopsis felis*, Campeche Sound, southern Gulf of Mexico (2001-2004). Extraction method: principal component analysis. Rotation method: Varimax with Kaiser Normalization. Percent of variance explained: Component 1 (land origin) = 34.9; Component 2 (marine origin) = 26.3.

toreo Ambiental del Estado de Texas, USA (Howell & Hughes, 1998; Fig. 5). La concentración promedio de cromo registrada en este trabajo ($0,971 \mu\text{g g}^{-1}$) fue 38,9%, 77,8% y 45,6% menor que la encontrada en *Ariopsis felis*, *Bagre marinus* e *Ictalurus punctatus* del estado norteamericano respectivamente. El contenido promedio de mercurio ($0,048 \mu\text{g g}^{-1}$) fue 88,0%,

75,3% y 87,2% inferior al observado en las mismas tres especies de bagre. La concentración promedio de níquel ($0,572 \mu\text{g g}^{-1}$) fue 42,8% y 10,6% menor que la correspondiente a *A. felis* y *B. marinus* del estado de Texas. El contenido promedio de plomo ($0,520 \mu\text{g g}^{-1}$) excedió a 94,8%, 132,1% y 188,9% al encontrado en muestras provenientes del norte del golfo de México.

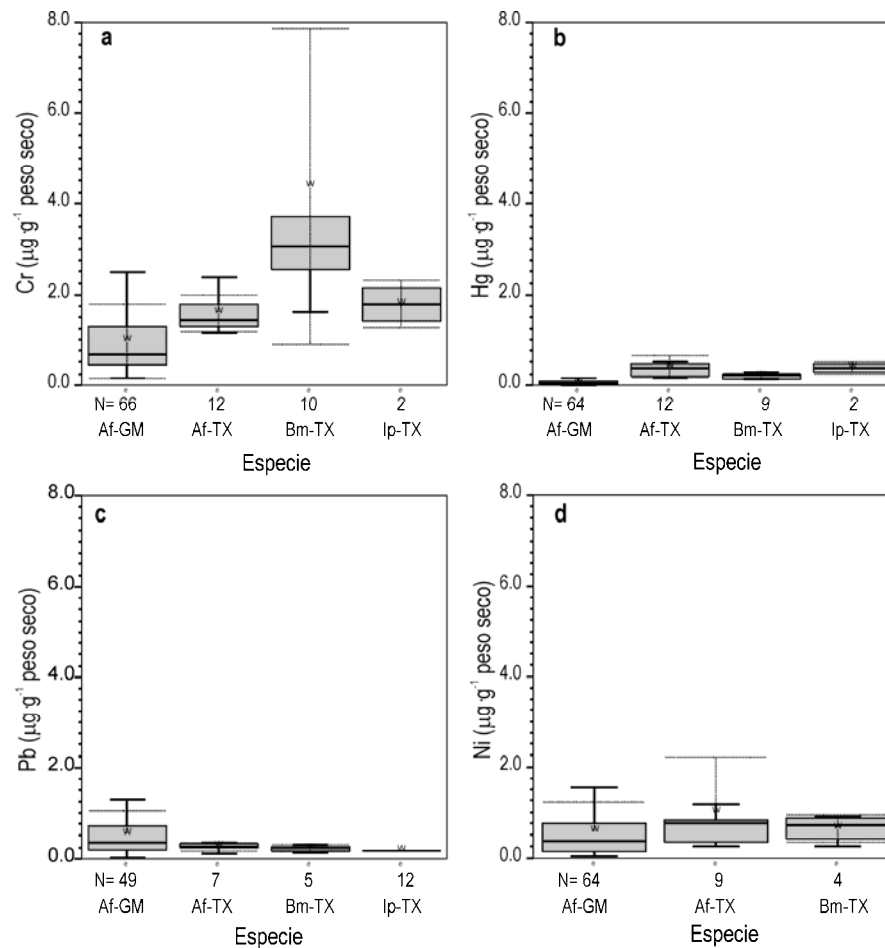


Figura 5. Contenido de metales pesados en diferentes especies de bagre del golfo de México (Af-*Ariopsis felis*, Bm-*Bagre marinus*, Ip-*Ictalurus punctatus*; TX-Norte del golfo de México, GM-Estudio actual): a) Cromo, b) Mercurio, c) Plomo, d) Níquel. El círculo negro muestra el valor para la media. La línea punteada indica la desviación estándar. La caja representa el recorrido intercuartílico que contiene el 50% de los valores. La línea dentro de la caja representa el valor de la mediana. Las líneas continuas paralelas fuera de la caja representan los valores más altos y bajos, excluyendo valores extremos y atípicos. Los valores TX fueron calculados a partir de datos obtenidos de Howell & Hughes (1998). Los valores GM se refieren al periodo 2001-2004 en conjunto.

Figure 5. Heavy metals content in different catfish species from the Gulf of Mexico (Af- *Ariopsis felis*, Bm- *Bagre marinus*, Ip- *Ictalurus punctatus*; TX-Northern Gulf of México; GM-This study): a) Chromium, b) Mercury, c) Lead, d) Nickel. Mean value is identified by a black dot. Dashed line show standard deviation. Box represents interquartile range which contains 50% of values. Line within the box denotes median value. Whiskers lines extend from the box to the highest and lowest values, excluding extremes and outliers. TX values were computed from data reported by Howell & Hughes (1998). GM values relate to the period 2001-2004 as a whole.

Tabla 4. Correlación entre el contenido de metales pesados en el tejido muscular de *A. felis*, sonda de Campeche, sur del golfo de México (gris claro: correlación significativa al nivel 0,01; gris oscuro: correlación significativa al nivel 0.05). Período 2001-2004.

Table 4. Correlation between heavy metals content in muscular tissue of *A. felis*, Campeche Sound, southern Gulf of Mexico (light gray: significant correlation at level 0,01; dark gray: significant correlation at level 0.05). Period 2001-2004.

		Co	Cr	Hg	Ni	Pb	V
Co	Correlación de Pearson	1	0,019	-0,656	0,047	-0,071	0,329
	Significación con dos colas	.	0,884	0,000	0,721	0,633	0,020
	N	65	63	61	61	47	50
Cr	Correlación de Pearson	0,019	1	0,240	0,477	0,475	-0,272
	Significación con dos colas	0,884	.	0,061	0,000	0,001	0,056
	N	63	66	62	62	49	50
Hg	Correlación de Pearson	-0,656	0,240	1	0,005	-0,008	-0,160
	Significación con dos colas	0,000	0,061	.	0,969	0,960	0,281
	N	61	62	64	60	45	47
Ni	Correlación de Pearson	0,047	0,477	0,005	1	0,212	-0,311
	Significación con dos colas	0,721	0,000	0,969	.	0,144	0,030
	N	61	62	60	64	49	49
Pb	Correlación de Pearson	-0,071	0,475	-0,008	0,212	1	-0,552
	Significación con dos colas	0,633	0,001	0,960	0,144	.	0,000
	N	47	49	45	49	49	45
V	Correlación de Pearson	0,329	-0,272	-0,160	-0,311	-0,552	1
	Significación con dos colas	0,020	0,056	0,281	0,030	0,000	.
	N	50	50	47	49	45	51

Finalmente, se puede señalar que el tejido muscular de *A. felis* del sur del golfo de México presenta concentraciones de metales notoriamente inferiores a las establecidas en normas nacionales e internacionales vigentes. Su magnitud media siguió el orden: Hg < Co < Pb < Ni < V < Cr, y ellas constituyen un marco de referencia ambiental para este organismo. La estrecha relación trófica entre *A. felis* y el fondo marino, así como la gran afinidad de los metales por el sedimento indican que otras especies que habitan el área de estudio presentarán contenidos metálicos inferiores a los que aquí se reportan o, como máximo, comparables a ellos. Para ampliar este marco de referencia, se requieren estudios futuros sobre especies con hábitos bentónicos, diferentes a la aquí estudiada (lenguado, camarón, entre otras), y pelágicos (calamar, huachinango, entre otras). Diferencias ajenas al azar en el contenido promedio de cuatro metales pesados (cobalto, mercurio, plomo y vanadio), fueron observadas durante el período 2001-2004. Estas podrían indicar que las acciones de protección ambiental implementadas en la región han sido efectivas para disminuir la

concentración de ciertos metales como vanadio y cobalto. En otros casos tales acciones podrían requerir ajuste, reforzamiento y/o replanteamiento, pero se requieren estudios adicionales para confirmar estas afirmaciones. La existencia de asociaciones funcionales entre metales cuya expresión matemática permita predecir la concentración de unos a partir de otros debe ser explorada.

AGRADECIMIENTOS

El autor Tomás R. Florville-Alejandre dedica este artículo a la memoria de su padre, Dr. Tomás Ramón Florville Andrade (1930-2006).

REFERENCIAS

Ache, B.W., J.D. Boyle & C.E. Morse. 2000. A survey of the occurrence of mercury in the fishery resources of the Gulf of Mexico. U.S. EPA Gulf of Mexico Program, Stennis Space Center, 71 pp.

- Achura, F. & S. Osakwe. 2003. Petroleum-induced free radical toxicity in African catfish (*Clarias gariepinus*). *Fish. Physiol. Biochem.*, 29(2): 97-103.
- Adhikari, S. 2003. Effect of calcium and magnesium hardness on acute copper toxicity to indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton) and catfish, *Channa punctatus* (Bloch). *Aquaculture Res.*, 34(12): 975-980.
- Agbozu, I.E., I.K.E. Ekweozor & K. Opuene. 2007. Survey of heavy metals in the catfish *Synodontis clarias*. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 4(1): 93-97.
- Baker, J. 1988. *Simply fish: a guide to identifying, buying and eating fish*. Faber & Faber, London, 333 pp.
- Baras, E. & P. Laleye. 2003. Ecology and behaviour of catfishes. In: G. Arratia, B.G. Kapoor, R. Diogo & M. Chardon (eds.). *Catfishes*. Vol 2. Science Publ. Inc., Enfield, pp. 523-579.
- Burgess, W.E. 1989. *An atlas of freshwater and marine catfishes. A preliminary survey of the Siluriformes*. T.F.H. Publications, Neptune City, 784 pp.
- Cizdziel, J., T. Hinners, C. Cross & J. Pollard. 2003. Distribution of mercury in the tissues of five species of freshwater fish from Lake Mead, USA. *J. Environ. Monit.*, 5(5): 802-807.
- Digiulio, R.T., C. Habig & E.P. Gallagher. 1993. Effects of Black Rock Harbor sediments on indexes of bio-transformation, oxidative stress, and DNA integrity in channel catfish. *Aquat. Toxicol.*, 26: 1-22.
- Eggleton, M.A. & H.L. Schramm. 2004. Feeding ecology and energetic relationships with habitat of blue catfish, *Ictalurus furcatus*, and flathead catfish, *Pylodictis olivaris*, in the lower Mississippi River, U.S.A. *Environ. Biol. Fish.*, 70(2): 107-121.
- Eisler, R. 1986. Chromium hazards to fish, wildlife, and invertebrates: A synoptic review. Biological Report 85(1.6). Patuxent Wildlife Research Center, U.S. Fish and Wildlife Service, Laurel, 38 pp.
- Elia, A.C., R. Galarini, M.I. Taticchi, A.J.M. Dorr & L. Mantilacci. 2003. Antioxidant responses and bioaccumulation in *Ictalurus melas* under mercury exposure. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 55(2): 162-167.
- European Union. 2005. Commission regulation (EC) No. 78/2005. Amending regulation (EC) No. 466/2001 as regards heavy metals. [<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:016:0043:0045:EN:PDF>]. Revised: 1 January 2008.
- Florville-Alejandre, T.R. & F. Vázquez-Gutiérrez. 2006. (CD-ROM). Contaminación en tejido muscular de especies centinela del sur del golfo de México: Experiencia 2001-2004. Memorias del II Taller-Simposio Sobre Ecosistemas Costeros del Golfo de México y Mar Caribe. Villahermosa.
- Gamble, L.R., G. Jackson & T.C. Maurer. 1988. Organochlorine, trace element, and petroleum hydrocarbon contaminants investigation of the lower Rio Grande Valley, Texas, 1985-1986. Division of Ecological Services, U.S. Fish and Wildlife Service, Corpus Christi, 34 pp.
- Howell, C. & M. Hughes. 1998. Regional environmental monitoring and assessment program - Region 6. 1993-1994 Texas Coast Rivers and Estuaries Study. Fish/Invertebrate Tissue Chemistry. U.S. Environmental Protection Agency. March, 1998. [http://www.epa.gov/emap/remap/html/six/data/fish/goph4_4.txt]. Revised: 29 September 2005.
- Kawaguchi, T., D. Porter, D. Bushek & B. Jones. 1999. Mercury in the american oyster *Crassostrea virginica* in South Carolina, USA, and public health concerns. *Mar. Pollut. Bull.*, 38(4): 324-327.
- Ladewig, K.F. & D.W. Logan. 1992. You can do catfish. SRAC Publication No. 501. U.S. Southern Regional Aquaculture Center, Stoneville, 4 pp.
- Leadly, T.A., L.D. Arcand-Hoy, G.D. Haffner & C.D. Metcalfe. 1999. Fluorescent aromatic hydrocarbons in bile as a biomarker of exposure of brown bullheads (*Ameiurus nebulosus*) to contaminated sediments. *Environ. Toxicol. Chem.*, 18(4): 750-755.
- Moeller, A., S.D. MacNeil, R.F. Ambrose & S.S. Que Hee. 2003. Elements in fish of Malibu Creek and Malibu Lagoon near Los Angeles, California. *Mar. Pollut. Bull.*, 46: 424-429.
- Muncy, J.R. & M.W. Wingo. 1983. Species profiles: life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (Gulf of Mexico): Sea Catfish and Gafftopsail Catfish. National Coastal Ecosystems Team, Division of Biological Services, U.S. Fish and Wildlife Service, U.S. Department of the Interior, Washington, D.C., 17 pp.
- Nauen, C.C. 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. Food and Agriculture Organization of the United Nations, New York, 102 pp.
- Nicola, R.M., R. Branchflower & D. Pierce. 1987. Chemical contaminants in bottomfish. *J. Environ. Health*, 49: 342-347.
- Page, L.M. 2006. Planetary biodiversity inventories: a response to the taxonomic crisis. American Institute of Biological Sciences. [<http://www.actionbioscience.org/biodiversity/page.html>]. Revised: 12 April 2008.
- PEMEX-UNAM. 2003. Evaluación prospectiva para el programa de monitoreo continuo del efecto ambiental de la actividad petrolera en el golfo de México. Reporte Final de la Campaña SGM6. Laboratorio de Físicoquímica. Instituto de Ciencias del Mar y Limno-

- logía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 294 pp.
- Peraza, M.A., F. Ayala-Fierro, D.S. Barber, E. Casarez & L.T. Rael. 1998. Effects of micronutrients on metal toxicity. *Environ. Health Perspect.*, 106(1): 203-216.
- Ponce-Vélez, G. & A.V. Botello. 2006. Organic and inorganic pollutants in marine sediments from northern and southern continental shelf of the Gulf of Mexico. *Int. J. Environ. Pollut.*, 26(1/2/3): 295-311.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards, S. Arias-Reynada & S. Santiago-Pérez. 1992. Distribución de metales en sedimentos recientes del sureste del golfo de México. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 19(2): 123-130.
- Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards, S. Santiago-Pérez, C. Méndez-Jaime & R. Doger-Badillo. 1994. Study of anthropogenically induced trace metals on the continental shelf in the South-Eastern part of the Gulf of Mexico. *Rev. Int. Cont. Amb.*, 10(1): 9-13.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2004. Carta nacional pesquera. [http://dof.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?codnota=680061]. Revised: 1 June 2008.
- Secretaría de Salud. 1995a. 03-03-95 Norma Oficial Mexicana NOM-027-SSA1-1993. Bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias. [http://diariooficial.segob.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?cod_diario=209014&pagina=10&seccion=0]. Revised: 1 June 2008.
- Secretaría de Salud. 1995b. 03-03-95 Norma Oficial Mexicana NOM-028-SSA1-1993. Bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados en conserva. Especificaciones sanitarias. [http://diariooficial.segob.gob.mx/nota_to_imagen_fs.php?cod_diario=209014&pagina=17&seccion=0]. Revised: 1 June 2008.
- Shukla, V., P. Rathee & K.V. Sastry. 2003. Effect of toxicants on the intestine transport in fishes. *Himalayan J. Environ. Zool.*, 15(2): 129-136.
- Smith, I.C. & B.L. Carson. 1981. Trace metals in the environment. Vol. VI. Cobalt. Ann Arbor Science Publ. Inc., Ann Arbor, 1202 pp.
- Trajano, E. 2003. Ecology and ethology of subterranean catfishes. In: G. Arratia, B.G. Kapoor, R. Diogo & M. Chardon (eds.). *Catfishes*. Vol. 2. Science Publ. Inc., Enfield, pp. 601-635.
- U.S. Food and Drug Administration (USFDA). 2005. National shellfish sanitation program. Guide for the control of molluscan shellfish 2005. Center for Food Safety and Applied Nutrition, U.S. Food and Drug Administration, College Park, 417 pp.
- Vázquez, G.F. & K.V. Sharma. 2004. Major and trace elements in sediments of the Campeche Sound, Southeast Gulf of Mexico. *Mar. Pollut. Bull.*, 48(1/2): 87-90.
- Vázquez, G.F., K.S. Virender, Q.M.A. Mendoza & R. Hernandez. 2001. Metals in fish and shrimp of the Campeche Sound, Gulf of Mexico. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 67: 756-762.
- Viljoen, A., G.J. Steyn, J.H.J. Van Vuren & P.W. Wade. 2003. Zinc effects on the embryos and larvae of the Sharptooth Catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 70(5): 1022-1027.
- World Health Organization (WHO). 1991. Environmental health criteria: 108. Nickel. World Health Organization, Geneva, 383 pp.

Received: 3 March 2008; Accepted: 3 July 2008