

METALES PESADOS EN PECES DE LAS PRESAS DEL MUNICIPIO DE CHIHUAHUA DURANTE LAS ESTACIONES DEL AÑO

Nevárez-Rodríguez Myrna Concepcion ¹, Moreno-Lopez Myriam Veronica ¹, Leal-Quezada Luz Olivia¹

¹Departamento de Energías Renovables y Protección del Medio Ambiente. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMAV). Miguel de Cervantes 120. Chihuahua, Chih., 31109, México.

luz.leal@cimav.edu.mx

RESUMEN

Los metales pesados se encuentran en los cuerpos de agua provenientes tanto de fuentes naturales como antropogénicas. El consumo por medio de la dieta se ha asociado a múltiples problemas de salud, por lo que se ha investigado la concentración de mercurio (Hg), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en peces de consumo de las presas del municipio de Chihuahua a través de las estaciones del año, con el fin de evaluar el nivel de contaminación y la seguridad del consumidor. Se obtuvieron muestras de músculo de tres especies de peces: Mojarra Verde (*Lepomis cyanellus*), bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) y mojarra azul (*Lepomis macrochirus*) de las presas Chuisca, Chihuahua, El Rejon y San Marcos. La determinación de plomo y cadmio se llevó a cabo a través del plasma óptico de acoplamiento inductivo (ICP-OES), mientras que la de mercurio se realizó con la técnica de vapor frío y espectrometría de absorción atómica (CV-AAS). Se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de metales pesados en el músculo de peces en las diferentes estaciones del año. Las mayores concentraciones de Cd y Hg se encontraron en primavera y verano, con valores de 0.235 y 0.744 mg/kg de peso húmedo, respectivamente. La mayor concentración de plomo, 4.298 mg/kg de peso húmedo, corresponde al periodo de primavera, superando el límite de 1 mg/kg de peso húmedo establecido por la regulación mexicana. Sin embargo, el promedio de la concentración de Pb en la mayoría de las presas en primavera y otoño superó el límite marcado por la norma, por lo que se recomienda evitar el consumo de estas especies de peces en dichas temporadas.

Palabras clave: mercurio, cadmio, plomo, peces de agua dulce, músculo.

ABSTRACT

Heavy metals have been found in water bodies from both natural and anthropogenic sources. The exposure to these elements through the diet has been associated to several health problems. So, the aim of this work was to investigate the concentrations of mercury, cadmium and lead in three different species of fish from Chihuahua county water reservoirs through the seasons, in order to assess contamination level and consumers safety. Samples of muscle from three fish species (channel catfish, green sunfish, blue gill) were collected from four water reservoirs (Chuisca, Chihuahua, El Rejon and San Marcos) in each season. Lead and cadmium concentrations were determined by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry whereas mercury content by cold-vapor atomic absorption spectrometry. Significant differences were found for heavy metals concentrations in fish in the course of the seasons. The highest concentrations of Cd and Hg were found in spring and summer, with values of 0.235 and 0.744 mg/kg wet weight, respectively. In the case of lead concentration, the highest value was 4.298 mg/kg wet weight, corresponding to spring season. This value exceeds the 1 mg/kg wet weight established by the Mexican regulation. Even more, the average lead concentration in fish file from most of the water reservoirs in spring and autumn seasons surpassed this lead permissible limit. Therefore, avoiding the consumption of these fish species during spring and summer is recommended.

Key words: mercury, cadmium, lead, freshwater fish, muscle.

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados procedentes de fuentes naturales y antropogénicas, están presentes en los cuerpos de agua y son acumulados por los peces a través de la dieta y las branquias, por lo que se pueden encontrar altas concentraciones de ellos en diversas especies de peces destinadas al consumo humano (EFSA 2005). Mapas geoquímicos del municipio de Chihuahua muestran que el plomo y el cadmio están ampliamente distribuidos en sedimentos de ríos y arroyos (SGM 2002), mientras que las fuentes antropogénicas pueden aportar metales pesados debido a la deposición húmeda y seca (Gunawardena et.al 2013), así como a las actividades recreativas de los habitantes.

Para el hombre, la ingesta alimenticia se considera la fuente más importante de exposición a los metales pesados, con exclusión de la exposición accidental y ocupacional (OMS, 2011b), causando varios problemas de salud. El envenenamiento por plomo puede causar daños a los sistemas cardiovascular, renal, gastrointestinal, hematológico y reproductivo, así como cambios subcelulares y trastornos del desarrollo neurológico, siendo éste último el más significativo (UNEP, 2012).

La exposición crónica al cadmio causa problemas renales debido a su acumulación en las células del túbulo proximal, disminuyendo las tasas de filtración glomerular y, finalmente, una insuficiencia renal. También causa problemas al esqueleto como un efecto secundario de la disfunción renal o directamente por su desmineralización debido a su acumulación en el hueso (EFSA, 2012; UNEP, 2012). El cadmio es absorbido a través de la ingesta y se bioacumula en el hígado y el riñón, requiriendo de 10 a 30 años para excretarlo (EFSA, 2012).

La exposición prenatal a través del consumo de pescado con altas concentraciones de metilmercurio causa enfermedades graves, como parálisis cerebral, retraso mental, autismo, trastornos somatosensoriales, muertes infantiles y alteraciones neurológicas (EFSA, 2005; Benefice, et al 2010). Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar las concentraciones de mercurio, cadmio y plomo en el músculo de pescado de tres especies ampliamente consumidas a nivel local, a través de las diferentes estaciones del año, y compararlas con la normatividad establecida en México.

Para ello, se revisaron las diversas técnicas analíticas existentes para la determinación de metales. La espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) es una de las más utilizadas en el análisis de metales pesados, sobretodo si se requiere de un análisis multielemental. Además, ofrece límites de detección del orden de $\mu\text{g/L}$ (ppb). Esta técnica fue utilizada en este trabajo para la determinación de cadmio y plomo. En el caso de la medición

de mercurio, se empleó la técnica más utilizada, que es la de vapor frío acoplada a la espectrometría de absorción atómica (CV-AAS), ya que proporciona una alta sensibilidad (en el rango de $\mu\text{g/L}$), selectividad y bajos costos de operación (Leal et. al, 2006). La metodología analítica fue validada a través del análisis de material de referencia certificado, y posteriormente aplicada al análisis de las muestras de pescado.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en el municipio de Chihuahua, México. Las presas Chuviscar, Chihuahua y El Rejón se encuentran dentro de los límites de la ciudad de Chihuahua, y son alimentadas por el río Chuviscar, con capacidades de almacenamiento de: $2,1 \text{ Mm}^3$, $24,83 \text{ Mm}^3$, y $6,53 \text{ Mm}^3$ respectivamente. La presa San Marcos se encuentra fuera de los límites de la ciudad, y es alimentada por el río Sacramento, con una capacidad de almacenamiento de $4,45 \text{ Mm}^3$ (Figura 1). La zona de estudio pertenece a la región hidrológica 24, Bravo-Conchos (RH-24), perteneciente a la cuenca Río Conchos-Presa el Granero. Las presas fueron construidas originalmente para abastecer de agua a la ciudad de Chihuahua, y actualmente se utilizan para control de inundaciones y como áreas de recreación para los habitantes (INEGI, 2003).

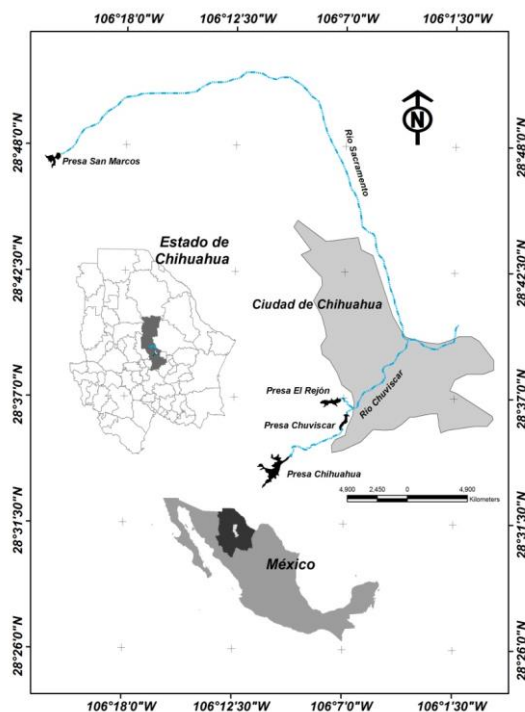


Figura 1. Área de estudio

Muestreo

El muestreo se llevó a cabo durante las cuatro estaciones del año, a excepción del verano en la presa Chuviscar, donde por razones de seguridad no se hizo el muestreo. Las especies analizadas fueron: Mojarra Verde (*Lepomis cyanellus*) y bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) en las presas Chihuahua y El Rejón; bagre de canal (*Ictalurus punctatus*) en la presa Chuviscar y la mojarra azul (*Lepomis macrochirus*) en la presa San Marcos, todas ellas especies de consumo entre la población local. Las muestras de peces se tomaron por duplicado, y se retiró el tejido muscular de cada pez.

Pre-tratamiento de muestras

Las muestras de músculo de pescado se sometieron a una digestión ácida con ácido nítrico, ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno (HNO_3 - H_2SO_4 - H_2O_2), todos de grado analítico (JT Baker, U.S.A.). Las muestras de músculo de peces y el material de referencia certificado DOLT-3 (Dogfish Liver, National Research Council of Canada), se sometieron a un procedimiento de digestión ácida adicionando a cada muestra 5 mL de ácido nítrico, colocándolas en una parrilla a 70 °C hasta la desaparición de los humos de color naranja característicos de este ácido. Luego se añadieron 5 mL de ácido sulfúrico, aumentando la temperatura a 180 °C durante 1 hora, y posteriormente incrementar la temperatura a 315 °C, hasta la desaparición de humos blancos característicos de este ácido. Finalmente se adicionó 1 mL de peróxido de hidrógeno, manteniendo la temperatura anterior durante 30 minutos. Las muestras se enfriaron a temperatura ambiente y se filtraron con papel filtro Whatman N ° 2. Por último, se aforaron a 50 ml con agua desionizada ($>18.2 \text{ M}\Omega \text{ cm}^{-1}$).

Material e instrumentos

El análisis de mercurio se realizó por la técnica CV-AAS, utilizando un espectrómetro de absorción atómica GBC, Avanta Σ. La medición se llevó a cabo a la longitud de onda de 253.7nm, con un flujo de gas argón de 120 mL/min y una presión de flujo de 40 psi. El plomo y el cadmio fueron analizados por la técnica ICP-OES, con un instrumento Thermo Jarrell Ash, AP duo. Las mediciones fueron realizadas a las longitudes de onda de 220.353 (117) nm y 228.802 (113) nm, respectivamente, con un flujo de gas argón de 1 L/min. Para la preparación de reactivos y estándares se utilizó agua desionizada ($>18.2 \text{ M}\Omega \text{ cm}^{-1}$). Los estándares de cadmio y plomo utilizados para la calibración, se prepararon diluyendo el material de referencia certificado QCS-27 (High Purity Standards, U.S.A.) de 100 mg/L, que tiene trazabilidad al National Institute of Standards and Technology (NIST, U.S.A.). Para la curva de calibración de mercurio se utilizaron

diluciones apropiadas de un patrón de Hg certificado de 1,000 mg/L (High Purity Standards, NIST, U.S.A.). El método fue validado utilizando el material de referencia certificado DOLT-3 (Dogfish Liver, National Research Council of Canada).

Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo en cada presa, donde se consideró el factor temporada. Aquellas temporadas con diferencias significativas en el análisis de varianza (ANOVA), se les aplicó una prueba de Tukey, utilizando el software estadístico Minitab 15 ®.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis del material de referencia certificado permitió validar el método desarrollado. Las recuperaciones obtenidas de los analitos de interés fueron de 99,4% para el mercurio, 96,8% para plomo y 99,6% para el cadmio, tal como se muestra en la (Tabla I). Al comparar los resultados obtenidos contra los valores certificados del material de referencia DOLT-3, no se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

Tabla I. Recuperaciones de material de referencia certificado DOLT-3

	Valor certificado (mg/kg)	Valor obtenido (mg/kg)	Recuperación (%)
Mercurio	3.37±0.14	3.35±0.09	99.4
Plomo	0.32±0.05	0.31±0.03	96.8
Cadmio	19.4±0.6	19.34±0.55	99.6

*La media y la desviación estándar del valor obtenido se calculó con diez muestras ($n = 10$)

La Tabla II muestra las concentraciones de cadmio, plomo y mercurio encontradas en las diferentes especies de peces de las cuatro presas del municipio de Chihuahua. Las concentraciones de los metales pesados en el músculo de pescado mostraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) a través de las estaciones del año, y algunos de esos valores excedieron la normatividad mexicana. A continuación se presenta un análisis más detallado de los resultados mostrados en la Tabla II.

Mercurio: Como puede verse en la Tabla II, la mojarra verde mostró diferencias significativas ($P \leq 0,05$) a través de los períodos de muestreo, observándose la mayor concentración de mercurio en el verano. Esto podría atribuirse a la tendencia estacional de contenido de lípidos. De acuerdo con la Guía para la Evaluación de Contaminantes Químicos de la EPA (2000), muchas especies de agua dulce aumentan su contenido de lípidos a finales del verano y principios del otoño, ya que los lípidos son conocidos como buenos receptores para los contaminantes orgánicos.

Tabla II. Concentración de cadmio, plomo y mercurio en el músculo de peces de las presas del municipio de Chihuahua en las estaciones del año¹

Presas	Especies	Temporada de muestreo	Cadmio (mg/kg peso húmedo)	Plomo (mg/kg peso húmedo)	Mercurio (mg/kg peso húmedo)
El Rejón	<i>Bagre de Canal (Ictalurus punctatus)</i>	Primavera	0.061±0.013 a	2.327±0.080 b *	0.041±0.022
		Verano	0.235±0.013 b	<0.042 a	0.039±0.022
		Otoño	<0.0025 a	3.154±0.080 c *	0.059±0.022
		Invierno	<0.0025 a	<0.042 a	0.047±0.022
	<i>Mojarra Verde (Lepomis cyanellus)</i>	Primavera	0.027±0.014	1.718±0.560 ab *	<0.005 a
		Verano	<0.0025	<0.042 a	0.098±0.012 b
		Otoño	<0.0025	3.516±0.560 b *	0.059±0.012 ab
		Invierno	<0.0025	<0.042 a	0.034±0.012 ab
Chihuahua	<i>Bagre de Canal (Ictalurus punctatus)</i>	Primavera	<0.0025	0.729±0.103 b	<0.005 a
		Verano	0.010±0.007	<0.042 a	0.047±0.010 ab
		Otoño	0.024±0.007	2.110±0.103 c *	0.042±0.010 ab
		Invierno	<0.0025	<0.042 a	0.089±0.010 b
	<i>Mojarra Verde (Lepomis cyanellus)</i>	Primavera	<0.0025	2.746±0.087 b *	<0.005 a
		Verano	0.121±0.055	<0.042 a	0.465±0.256 b
		Otoño	<0.0025	1.524±0.087 b *	<0.005 a
		Invierno	<0.0025	<0.042 a	<0.005 a
San Marcos	<i>Mojarra azul (Lepomis macrochirus)</i>	Primavera	<0.0025 a	0.623±0.329	0.744±0.119
		Verano	0.036±0.0004 b	<0.042	0.333±0.119
		Otoño	<0.0025 a	0.976±0.329	0.395±0.119
		Invierno	<0.0025 a	<0.042	0.275±0.119
Chuviscar	<i>Bagre de Canal (Ictalurus punctatus)</i>	Primavera	0.090±0.005 b	4.298±0.626 b *	<0.005
		Otoño	<0.0025 a	<0.042 a	0.013±0.004
		Invierno	<0.0025 a	<0.042 a	<0.005

¹ Expresados como medias de mínimos cuadrados ± error estándar de la media, n = 46

<Por debajo del límite de detección de la técnica analítica.

a, b, c = Letras diferentes en la columna muestran diferencias estadísticas en un nivel de 0,05 de acuerdo con la prueba de Tukey.

* Concentración promedio superior a los límites establecidos en la NOM 027 SSA1 1993, de 1 mg / kg de mercurio, 1 mg / kg de plomo y 0,5 mg / kg para el cadmio en filetes de pescado.

Esto podría explicarse si se toma en cuenta que el metilmercurio es la especie química más abundante de mercurio en el pescado, proporcionando el 80% con respecto al mercurio total (OMS, 2011a), y considerando además, que el metilmercurio tiene propiedades lipofílicas (PNUMA, 2005). Por otra parte, la concentración promedio de mercurio no excedió en ninguna estación el límite máximo permitido de 1 mg/kg de peso húmedo de mercurio total (Tabla II), establecido por la normatividad mexicana (NOM-027-SSA1-1993). Sin embargo, si se estima que

el 80 % del mercurio total corresponde al metilmercurio, en el caso de la mojarra azul de la presa San Marcos muestreada en el verano, se podría hablar de una concentración de 0.595 mg/kg de peso húmedo, lo cual superaría el límite de 0.5 mg/kg de peso húmedo establecido para metilmercurio en filetes de pescado por la NOM-027-SSA1-1993. Cabe señalar que las altas concentraciones de mercurio encontradas en los peces de la presa San Marcos podrían estar asociados a la erosión de suelo y roca volcánica (PNUMA, 2005) provenientes de las montañas de Majalca, ya que el río Sacramento, el cual alimenta a la presa San Marcos, nace en esta zona montañosa, que según Ferriz (1981), es una caldera volcánica.

Cadmio: Tal como se muestra en la Tabla II, se encontraron en los peces altas concentraciones de cadmio en las estaciones de primavera y verano ($P \leq 0,05$), cuyo período se caracteriza por presentar altas temperaturas, con una media de 35 °C, justo antes de la temporada de lluvias, lo que podría contribuir a estos resultados. Como explicación de esta tendencia, se ha reportado que la bioacumulación de cadmio ha sido asociada con altas temperaturas, debido a factores como la alteración en la homeostasis del músculo (Guinot, et al. 2012), y un aumento de la concentración de cadmio en las proteínas como la metalotioneína (Baykan, et. al 2007). Después de este periodo, la concentración de cadmio disminuyó en el otoño, incluso a niveles no detectados por la técnica analítica (Tabla II). A este respecto, varios autores han reportado una disminución de la concentración de cadmio en el agua después de la temporada de lluvias, asociada a la dilución por la lluvia y la escorrentía (Papafilippaki, et al, 2008; Audry, et al. 2004). Esto podría haber ocurrido en las presas del municipio de Chihuahua, ya que durante el muestreo se atravesó por un periodo muy lluvioso. La presa El Rejón pasó de un 34 % de su capacidad de almacenamiento en el mes de junio, a un aumento de 90% en octubre; la presa Chihuahua pasó de un 46 % de su capacidad de almacenamiento en junio a un 92 % en octubre (CNA, 2008). En este estudio, las concentraciones de cadmio en el pescado disminuyeron después de la temporada de lluvias, por los efectos de dilución y escorrentía antes mencionados. Además, se ha reportado un comportamiento similar en condiciones controladas, donde los peces fueron expuestos a concentraciones de cadmio en el agua y luego se transfirieron a agua limpia, mostrando una disminución de los valores de cadmio acumulado (Cinier, et al., 1999). Las concentraciones de cadmio (Tabla II) no excedieron el límite máximo permisible de 0,5 mg/kg de peso húmedo establecido por la regulación mexicana (NOM 027 SSA1 1993).

Plomo: La concentración de plomo en los peces mostró un comportamiento estacional similar en la mayoría de las presas (Tabla II), presentando las concentraciones más altas en la temporada de otoño ($P \leq 0,05$), justo después de la temporada de lluvias. Este comportamiento puede deberse a

la contribución de plomo a los ambientes acuáticos a través de la deposición atmosférica o a través de la escorrentía de los suelos (ATDSR, 2007). Adicionalmente, también se ha informado de la dispersión atmosférica de plomo a partir de residuos de minas (Castillo et al., 2013). Esto último es un factor de peso en la ciudad de Chihuahua, donde existen residuos a cielo abierto de una antigua fundidora. Por otra parte, también se debe considerar que el estado de Chihuahua ocupa el segundo lugar en la extracción de plomo en México, con una producción anual de 56,253.00 toneladas según datos del 2008 (SGM, 2011). La concentración promedio de plomo en el pescado de la mayoría de las presas en temporada de primavera y otoño (Tabla II) superó el límite máximo permitido de 1 mg/kg de peso húmedo, establecido por la NOM 027 SSA1 1993.

CONCLUSIONES

La metodología desarrollada para el análisis de Hg por CV-AAS y Cd y Pb por ICP-OES fue validada a través del análisis de material de referencia certificado (DOLT-3), obteniéndose resultados satisfactorios, con recuperaciones en el rango de 96-99 %. En el análisis de las muestras de músculo de pescado, se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de Hg, Cd y Pb a través de las diferentes estaciones del año, infiriéndose que la temporada de lluvias fue un factor determinante para estos resultados. La concentración de cadmio aumentó en las estaciones de primavera y verano, debido probablemente al efecto de las altas temperaturas en el metabolismo del pez. En el otoño, con las presas casi a su máxima capacidad de almacenamiento (por efecto de las lluvias), la concentración de Cd disminuyó considerablemente, incluso a niveles no detectables por la técnica analítica, debido al efecto de dilución de la lluvia y a las escorrentías. En el caso de la concentración de plomo, ésta aumentó en el otoño, debido la contribución de plomo a los ambientes acuáticos a través de la deposición atmosférica húmeda o de la escorrentía de los suelos. Se deduce que la contribución de plomo es aportada por las diversas zonas mineras de la región e industrias relacionadas. Las concentraciones de mercurio en la mojarra verde aumentaron significativamente en el verano, lo que concuerda con reportes de que muchas especies de agua dulce aumentan su contenido de lípidos en esta temporada, ya que los lípidos son buenos receptores para los contaminantes orgánicos, como el metilmercurio, que representa el 80 % del contenido total de mercurio en los peces. Sólo las concentraciones de plomo en primavera y otoño, en la mayoría de las presas, superaron el límite de 1 mg/kg de peso húmedo establecido por la normatividad mexicana, por lo que se recomienda evitar el consumo de las especies de peces estudiadas durante estas temporadas.

REFERENCIAS

- ATDSR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Toxicological profile for lead, 2007. Atlanta, U.S. Department of Health and Human Services, Georgia. URL <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp13.pdf>. Accessed 1.03.13.
- Audry, S., Blanc, G., & Schafer, J. (2004). Cadmium transport in the Lot–Garonne River system (France)—temporal variability and a model for flux estimation. *The Science of the Total Environment*, 319, 197–213.
- Baykan, U., Atli, G., & Canli, M. (2007). The effects of temperature and metal exposures on the profiles of metallothionein-like proteins in *Oreochromis niloticus*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 23, 33–38.
- Benefice, E., Luna, S., & López, R., (2010), Fishing activity, health characteristics and mercury exposure of Amerindian women living alongside the Beni River (Amazonian Bolivia). *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 213, 458–464.
- Castillo, S., De la Rosa, J, D., Sánchez, A, M., González, Y., Fernández, J,C., Gonzalez, I., Romero, A., (2013), Contribution of mine wastes to atmospheric metal deposition in the surrounding area of an abandoned heavily polluted mining district (Rio Tinto mines, Spain) *Science of the Total Environment* 449, 363–372.
- Cinier, Ch, C., Petit-Ramel, M., Faure, R., & Garin, D., (1999). Kinetics of cadmium accumulation and elimination in carp *Cyprinus carpio* tissues. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, 122, 345–352.
- CNA (National Water Commission). Storage volume of the dams Chihuahua and El Rejon . Technical report: Chihuahua, Chih., México, 2008.
- Commission Regulation (EC) No 1881/2006, Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Union.
- EFSA (European Food Safety Authority) (2005). Opinion of the scientific panel on contaminants in the food chain on a request from the European parliament related to the safety assessment of wild and farmed fish. *EFSA Journal*. 236 ,1-118.
- EFSA (European Food Safety Authority) (2012). Cadmium dietary exposure in the European population, *EFSA Journal* 10 (1):2551.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency, Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories, Volume 1: Fish Sampling and Analysis, Third Edition, Washington, DC, 2000.
- Ferriz, H. (1981), Geology of the San Marcos cauldron, Chihuahua, National Autonomous University of Mexico, Institute of Geology , 5,1, 65-79.
- Guinot, D., Ureña, R., Pastor, A., Varó, I., Ramo, J., & Torreblanca, A. (2012) Long-term effect of temperature on bioaccumulation of dietary metals and metallothionein induction in *Sparus aurata*. *Chemosphere*, 87, 1215–1221.
- Gunawardena, J., Egodawatta, P., Ayoko, G,A., Ashantha Goonetilleke, A., (2013), Atmospheric deposition as a source of heavy metals in urban stormwater *Atmospheric Environment* 68, 235-242.
- INEGI (National Institute of Statistics, Geography and Informatics). Geographic Information Synthesis Chihuahua state, first edition publication only 156 p.p, México 2003.

Leal, L.O., Elsholz, O., Forteza, R., & Cerda, V. (2006). Determination of mercury by multisyringe flow injection system with cold-vapor atomic absorption spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 573, 399–405

NOM-027-SSA1-1993, Goods and services. Fishery products. Fresh fish, fresh and frozen. sanitary specifications. Olaiz, G., Rivera, J., Shamah, T., Rojas, R., Villalpando, S., Hernández, M., Sepúlveda, J., (2006). National Survey of Health and Nutrition 2006. Cuernavaca, Mexico: National Public Health Institute.

OMS (Organization mundial de la salud). Evaluation of certain Contaminants in food, food: seventy-second report of the joint FAO/WHO expert committee on food additives. (WHO technical report series ; no. 959) 2011a.

OMS (Organization mundial de la salud). Guidelines for Drinking-water Quality, fourth edition, 2011b. URL <http://www.who.int> Accessed 12.02.13.

Papafilippaki, A, K., Kotti, M,E., Stavroulakis G, G., (2008). Seasonal variations in dissolved heavy metals in the Keritis River, Chania, Greece. *Global NEST Journal*, 10, 3, 320-325.

PNUMA (Programa de las naciones unidas para el medio ambiente), Productos químicos, Evaluación mundial sobre el mercurio, Ginebra, Suiza, 2005.

SGM (Mexican Geological Survey), Statistical Yearbook of Mexican mining, 2011. URL http://www.sgm.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=59&Itemid=67 Accessed 15.04.13.

SGM (Mexican Geological Survey), lead and cadmium geochemistry Chihuahua letters (H13-C66). 2002. URL http://mapserver.sgm.gob.mx/cartas_impresas/productos/cartas/cartas50/geoquimica50/zn/numcarta50_zn.html ,Accessed 8.03.13.

UNEP (United Nations Environmental Programme), Lead & Cadmium. URL <http://www.unep.org/hazardoussubstances/Home/tabid/197/hazardoussubstances/LeadCadmium/tabid/29372/Default.aspx> Accessed 24.03.13