

Metales pesados en el agua de riego de la cuenca del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería

Oscar Raúl Mancilla Villa, Blanca Elizabeth Fregoso Zamorano, Eva Judith Hueso Guerrero, Rubén Darío Guevara Gutiérrez y Jalil Fallad Chávez

O. Mancilla¹, B. Fregoso², E. Hueso³, R. Guevara⁴ y J. Fallad⁵

¹Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara; Av. Independencia Nacional # 151 C.P. 48900, Autlán de Navarro, Jalisco, México.

²Departamento de Producción Agrícola del Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara; Av. Independencia Nacional # 151 C.P. 48900, Autlán de Navarro, Jalisco, México.

³Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Av. Independencia Nacional # 151, Autlán de Navarro, Jal. 48900.

⁴Postgrado de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, carretera México Texcoco, km 36.5. C.P. 56230, Texcoco, México

oscar.mancilla@cucsur.udg.mx

M. Ramos.,O. Rivas.,(eds.). Ciencias Multidisciplinarias, Proceedings-©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2015

Abstract

High levels of heavy metals concentrations in water used for irrigation represent an important agriculture and human health problem as well as for biodiversity, for that reason this paper regarding water quality in the basin was conducted river Ayuquila-Tuxcacuesco-Armeria. The study was conducted between February and April 2014, 40 water samples were taken. Hydrogen potential analyzed, electrical conductivity (EC), anions, cations and total As and heavy metals Cd, Hg and Pb. Heavy metals were determined using the recommended EPA (Environmental Protection Agency) and APHA (American Public Health Association) methodology. Water quality criteria NOM-001-ECOL-1996, EPA (1986) and SEDESOL (1989) was compared. The results showed low values in the concentration of heavy metals in water for agricultural irrigation and urban use, not for natural waters, for 100% of the samples had levels above the permissible limits for Hg and 92.5% for Pb. The higher the concentration presented with values of 0.0039 Hg mg L⁻¹ to 0.0203 mg L⁻¹, while lower values of 0.0007 mg L⁻¹ to 0.0086 mg L⁻¹ was for Pb.

17 Introducción

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Abollino et al., 2002).

Los metales pesados agrupan sustancias como cadmio y mercurio, principales contaminantes dentro de este grupo de sustancias, además de níquel y plomo, entre otras.

Los metales pesados se encuentran libres y de forma natural en algunos ecosistemas y pueden variar en su concentración. Sin embargo hay una serie de elementos que en alguna de sus formas pueden representar un serio problema medioambiental (Duffus, 2002; Agarwal, 2009).

Los metales pueden acumularse en los cultivos, ya sea a través de su absorción por el agua de riego contaminada, por la tierra a través de las raíces o por la deposición en el follaje de partículas aerotransportadas (Mor & Ceylan, 2008).

Los metales pesados pueden incorporarse a un sistema de abastecimiento de agua por medio de residuos industriales que son vertidos sin previos tratamientos, los que posteriormente se depositan en lagos, ríos y distintos sistemas acuíferos (García *et al.*, 2005).

Varios autores han mostrado el riesgo de contaminación por metales pesados en el agua (Abollino *et al.*, 2002, Gómez-Álvarez *et al.*, 2004, García *et al.*, 2005, Mancera-Rodríguez *et al.*, 2006, Prieto *et al.* 2007, Méndez *et al.*, 2012); en la acumulación de metales pesados en el suelo (Moral *et al.* 2002, Martí *et al.*, 2011, Bergues, 2011, Sarabia *et al.*, 2011) y en el riesgo potencial para la salud humana debido a la acumulación de metales pesados en las plantas (Llugany *et al.*, 2007

El cauce del río Ayuquila y los cuerpos de agua presentes en la cuenca reciben múltiples descargas de tipo industrial, municipal y rural (P.e., granjas porcícolas, granjas bovinas, empresas agrícolas, actividad minera), consideradas fuentes de una gran variedad de contaminantes como son los metales pesados (Santana *et al.*, 1993, Martínez *et al.*, 2008).

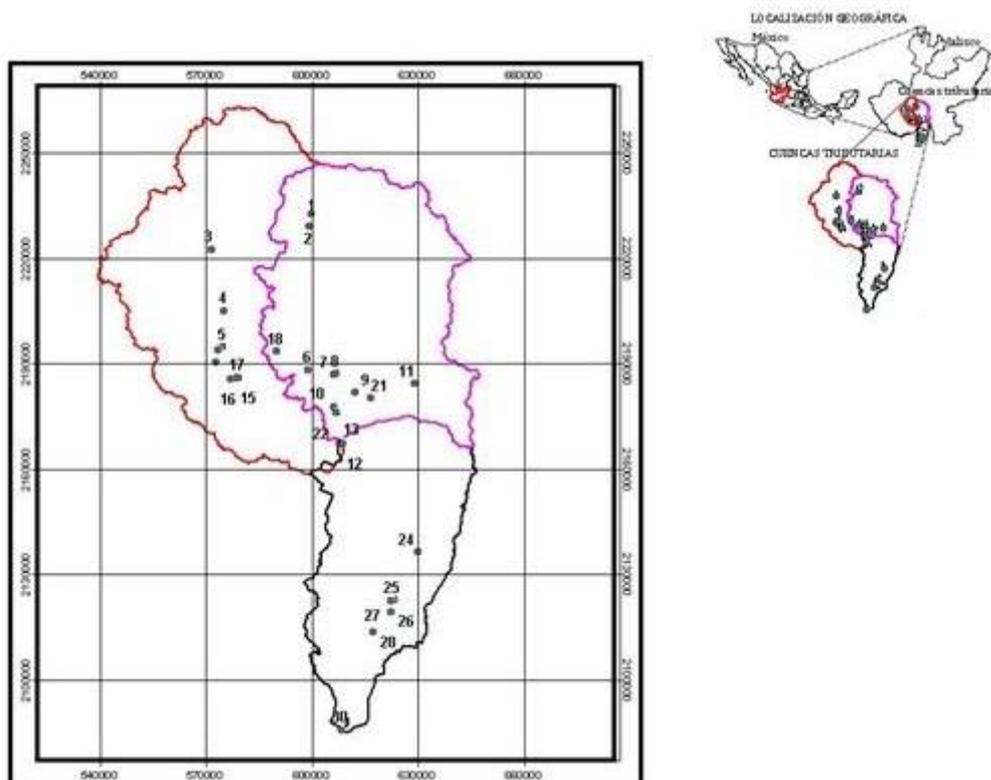
Montgomery-Watson (2001) reportan metales pesados en algunos sitios de la cuenca del río Ayuquila, sin embargo de acuerdo con Martínez *et al.* (2008) las concentraciones encontradas no representaban un riesgo para la biodiversidad. No obstante las concentraciones encontradas de cianuro si constituían una restricción al aprovechamiento seguro y productivo del agua en uso agrícola y en actividades de recreación con contacto primario, particularmente en la población de El Corcovado. En esta localidad se superó el nivel máximo de 0.02 mg L^{-1} , que aplica para uso recreativo con contacto primario y riego agrícola (NOM-001-ECOL-1996). En otro estudio realizado por CONAGUA (2007), se encontró la presencia de la mayoría de los metales pesados a excepción del zinc, arsénico y mercurio, siendo la presencia de cadmio y níquel los más abundantes y de valores más altos siguiéndoles el plomo, cianuros, cromo y cobre en respectivo orden descendente.

El presente estudio aporta información sobre la calidad del agua de riego en la cuenca del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería, en lo referente a contenido de metales pesados totales.

17.1 Materiales y métodos

El área de estudio se localiza entre los $102^{\circ}56'$ y $104^{\circ}35'$ longitud oeste $18^{\circ}40'$ y $20^{\circ}29'$ latitud norte, en el occidente de México y forma parte de los estados de Jalisco y Colima (Fig.17). El agua muestreada es utilizada para riego agrícola. Las muestras se tomaron en el río principal y sus afluentes, así como en canales de agua de riego, norias y pozos profundos. Éstas se obtuvieron en los municipios de: Tecolotlán, Unión de Tula, Autlán, El Grullo, El Limón, Tonaya, Tolimán, San Gabriel, Tuxcacuesco en Jalisco; Comala, Villa de Álvarez, Armería y Coquimatlán.

Figura 17 Localización del área de estudio.



La investigación de campo se realizó entre los meses de febrero y abril 2014. Se localizaron zonas ubicadas dentro de la cuenca donde se utiliza el agua para riego, estableciendo un total de 40 sitios. En cada uno se colectaron 2 muestras en recipientes de plástico de 0.5 L, a los cuales se les colocó una etiqueta con su respectiva fecha, nombre y localización del sitio, para posteriormente realizar las determinaciones en el laboratorio (**Tabla 17**).

Tabla 17 Metodologías necesarias y equipo para las determinaciones físico-químicas analíticas de las aguas de riego de la cuenca del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería

Determinación	Método	Referencia
1 pH	Potenciométrico, con potenciómetro marca beckman, modelo hoffman pinther boswork	Eaton <i>et al.</i> , 1995
2 Conductividad Eléctrica	Conductimetría, mediante conductímetro con puente de Wheastone con celda de vidrio	Richards, 1990
3 sodio y potasio	flamometría, mediante flamómetro il autoclamephotometer 643, l=589 nm, calibrado con soluciones estándar de 145 mmol _c l ⁻¹ para na y de 5 Mmol _c l ⁻¹ para k	Apha, 1995 3500-na ⁺ Y k ⁺ , d
4 Calcio y magnesio	Volumétrico, mediante titulación con edta y Eriocromo negro t como indicador, para ca + mg y Murexida para ca	Apha, 1995 3500 Ca ²⁺ , d
5 Carbonatos	Volumétrico, mediante titulación con ácido sulfúrico y Fenolftaleína como indicador	Apha, 1995 2320 b
6 Bicarbonatos	Volumétrico, mediante titulación con ácido sulfúrico y Anaranjado de metilo como indicador	Apha, 1995 2320 b
7 Cloruros	Titulación con nitrato de plata y cromato de potasio al 5% como indicador	Apha, 1995 4500-c- Ib
8 Sulfatos	Turbidimetría, mediante el espectrofotómetro modelo Perkin elmer 35, l=420 nm	Apha, 1995 4500- So ₄ ²⁻ e
9 Metales pesados Totales	Espectrometría de emisión atómica, mediante plasma de Acoplamiento inductivo con el icp perkin elmer 5300 Optima,	Epa-1983.

Los metales pesados totales se determinaron con la técnica de espectrometría de emisión atómica, mediante plasma de acoplamiento inductivo con el ICP, modelo Perkin Elmer 5300 Optima, en el Laboratorio de Ciencias Ambientales del Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo; los metales pesados analizados fueron As, Cd, Hg y Pb. A las muestras se les agregó ácido nítrico concentrado a pH<2, con base en los lineamientos de EPA (1983) y

APHA (1995).

Los valores de recuperación obtenidos en las muestras fortificadas, en agua desionizada, para el análisis de los metales fueron los siguientes: As 108.17%, Hg 91.91 %, Cd 108.93% y Pb 101.02 %; dichos valores se encuentran dentro del rango recomendado y cercanos al 100% (EPA, 1996).

Para evaluar la calidad del agua del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería, se utilizaron los criterios de EPA (1986), la NOM-001-ECOL-1996 y los criterios ecológicos de calidad de agua para diferentes usos (SEDUE, 1989), que establecen los límites máximos permisibles para metales pesados contenidos en el agua para uso agrícola y urbano (Tabla 17.1).

Tabla 17.1 Límites máximos permisibles para metales pesados.

Parámetro (mg L ⁻¹)	Ríos uso en riego		Ríos uso público		Fuente de			
	agrícola		urbano [†]		Aguas	Riego	abastecimiento	Recreativo e
	Promedio mensual	Promedio diario	Promedio mensual	Promedio diario	Naturales (EPA,	agrícola (SEDUE,	de agua potable	Industrial (SEDUE,
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.05	-
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.01	0.01	0.01	0.01
Mercurio	0.01	0.02	0.01	0.01	0.002	-	-	-
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.0015	5	0.05	0.1

Fuente: NOM-001-ECOL-1996; Mancilla-Villa, 2012a.

† Valores idénticos para protección de vida acuática

17.2 Resultados y discusión

En la tabla 17.2, se presenta la ubicación geográfica, la altitud y los nombres de los sitios de muestreo que fueron considerados en la presente investigación.

					1986	1989	(SEDUE, 1989)	1989
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.05	-
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.01	0.01	0.01	0.01
Mercurio	0.01	0.02	0.01	0.01	0.002	-	-	-
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.0015	5	0.05	0.1

Fuente: NOM-001-ECOL-1996; Mancilla-Villa, 2012a.

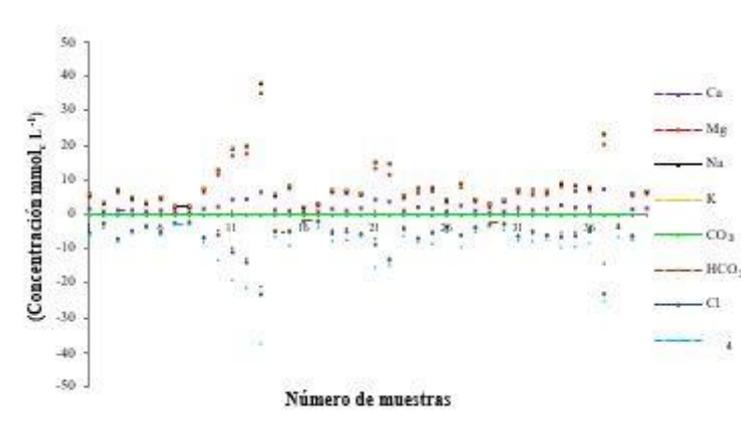
† Valores idénticos para protección de vida acuática

Tabla 17.2 Localización de las zonas de muestreo de las aguas de riego del río Ayuquila-Tuxcacuesco- Armería

No.	Lugar	Posición geográfica			No.	Lugar	Posición geográfica		
		Lat. Norte	Long. Oeste	Altitud (m)			Lat. Norte	Long. Oeste	Altitud (m)
1	Río Tuxcacuesco	20°10' 23.30	104°02' 23.40	118	21	Noria 1 Tuxcacuesco	19°40' 46.30	107°58' 38.90	708
2	Pozca El Pochote	20°10' 52.60	104°00' 58.30	118	22	Noria 2 Tuxcacuesco	19°40' 46.30	107°58' 34.10	715
3	Pozca La Colina-Arroyo	20°09' 31.70	104°02' 51.10	117	23	Noria 3 Tuxcacuesco	19°40' 45.00	107°58' 36.70	715
4	Pozca San Agustín	20°08' 28.90	104°02' 11.00	116	24	Río Tuxcacuesco en Tuxcacuesco	19°41' 42.40	107°58' 35.20	728
5	Pozca El Bado-río Ayuquila	20°08' 08.60	104°08' 40.40	114	25	Río Ayuquila-Paso real	19°36' 02.00	107°57' 47.30	698
6	Agua de riego-La Pilaña	20°00' 57.80	104°08' 07.60	112	26	Río Tuxcacuesco en Paso real	19°36' 13.50	107°57' 52.30	708
7	Agua de riego-Unión de Tula	19°58' 39.20	104°08' 52.70	116	27	Río Armería en Paso real	19°36' 03.50	107°57' 55.30	694
8	Pozca El Corcovado	19°58' 07.70	104°07' 04.00	909	28	Manantial La Toca-San Pedro	19°35' 49.40	107°57' 49.10	698
9	Río Ayuquila-Palo Blanco	19°44' 31.20	104°00' 40.70	873	29	Agua de riego-San Gabriel	19°45' 12.60	107°45' 53.60	1283
10	Agua de riego-El Aguacate	19°44' 41.60	104°09' 57.80	868	30	Río Guadalupe	19°19' 11.80	107°45' 34.80	608
11	Pozo La Barrada-Las Pasadas	19°43' 52.57	104°03' 11.29	870	31	Villa de Álvarez-canal de riego	19°14' 09.60	107°46' 00.90	460
12	Pozo Acapulco-Las Pasadas	19°43' 50.58	104°04' 52.90	868	32	Canal de riego-Coquintillas	19°11' 28.70	107°50' 16.10	302
13	Pozo El Ranchito-Las Pasadas	19°43' 50.58	104°03' 59.04	870	33	Río Armería-Coquintillas	19°11' 38.60	107°50' 10.10	308
14	Noria La Clínica	19°50' 28.66	104°08' 22.11	904	34	Manantial Los Arriales	19°10' 01.40	107°50' 01.10	280
15	Agua de riego de trapazo	19°50' 28.20	104°08' 22.30	904	35	Afluente Armería-Coquintillas	19°10' 24.30	107°49' 46.60	2352
16	Canal de riego-La Ciénega	19°49' 53.60	104°08' 08.10	867	36	Río Armería	18°57' 16.60	107°56' 41.90	46
17	Río San Buenaventura	19°47' 29.20	104°03' 14.40	790	37	Río Armería-Boca de Pascuales	18°51' 37.70	107°58' 03.60	3
18	Agua de riego-Tonaya	19°46' 43.20	104°08' 25.40	837	38	Agua de riego-Boca de Pascuales	18°51' 38.70	107°58' 02.50	0
19	Río Tonaya	19°46' 52.70	103°58' 39.20	817	39	Río Tonaya-El Paso	19°49' 28.19	107°56' 39.92	867
20	Agua de riego-cruce Tuxcacuesco	19°42' 57.50	103°53' 07.30	800	40	Noria Las Higueras-Tonaya	19°49' 42.20	107°55' 36.70	928

En la Figura 17.1, se presenta la distribución de la concentración iónica de las aguas de riego del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería, que nos permite observar con mayor claridad el predominio del anión bicarbonato y del catión magnesio.

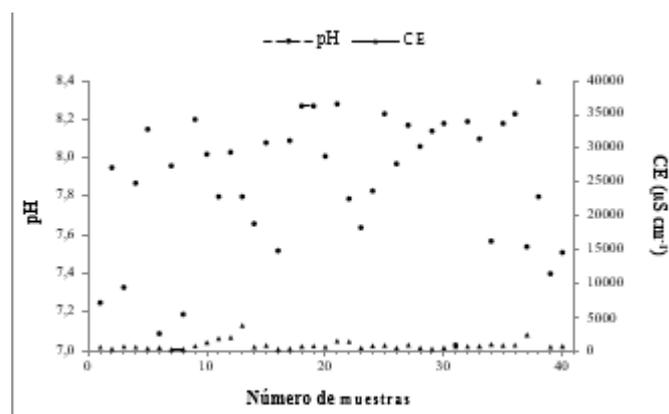
Figura 17.1 Distribución catiónica y aniónica de las aguas de riego del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería



En periodo de lluvias el río tiene mayor caudal por consiguiente los iones están más disueltos que en época de secas, así mismo, las descargas de aguas residuales agrícolas, el uso de fertilizantes y el contacto de las rocas con el agua, las cuales de acuerdo a su composición aportan diferentes iones, son algunas causas por las que se presenta la predominancia de bicarbonato y magnesio.

En la Figura 17.2, se presenta el pH y la conductividad eléctrica medidos en el agua de riego de la cuenca del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería.

Figura 17.2 Conductividad eléctrica y pH medidos en las aguas de riego del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería



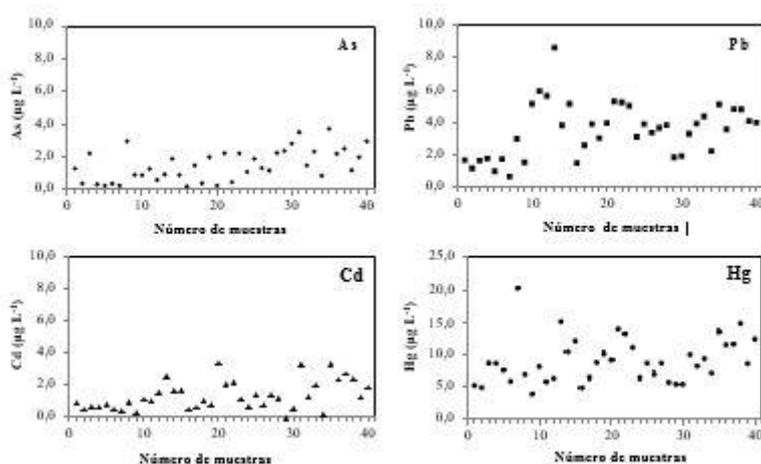
El pH de la solución tiene un efecto sobre la biodisponibilidad de la mayoría de los metales pesados al afectar el equilibrio entre la especiación metálica, solubilidad, adsorción e intercambio de iones en el suelo (Riechaman 2002). En soluciones ácidas se produce una competencia de los iones H^+ con los cationes metálicos por los sitios de intercambio (Kheboian y Bauer 1987). Al aumentar el pH, los metales pesados son removidos de la solución del suelo y adsorbidos por los coloides disminuyendo su biodisponibilidad. Por lo tanto, en suelos agrícolas con cargas variables, la retención de los cationes metálicos aumenta en la medida que el pH sea más alto y se reduce al acidificarse el suelo o el agua. (Lamb *et al.*, 2009).

En el agua analizada se encontraron valores de pH ligeramente alcalinos. La alcalinidad en el agua tanto natural como tratada, usualmente es causada por la presencia de iones carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^-), asociados con los cationes Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} (Barrios-Castillo, 2014).

Las muestras presentaron un rango de pH entre 7 y 8.2 (promedio de 7.8), lo cual indica que son ligeramente alcalinas. Mientras que la conductividad eléctrica presentó un valor promedio de $1882.94 \mu\text{S cm}^{-1}$, lo que indica que el agua analizada, bajo el criterio de estos dos parámetros y desde el punto de vista agrícola, es recomendable de acuerdo con Ayers y Westcot (1987), con restricción para 1 muestras que presentó elevado valor de CE, debido a que procede directamente de agua marina.

En la Figura 17.3, se presentan los resultados de la concentración de metales pesados en el agua muestreada.

Figura 17.3 Concentración de metales pesados en las aguas de riego del río Ayuquila–Tuxcacuesco–Armería



Al comparar los valores obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-ECOL-1996, 14 muestras superaron el límite máximo permisible de mercurio Hg (0.01 mg L^{-1}), para uso agrícola y urbano. Con respecto al criterio de EPA (1986), para aguas naturales, las 40 muestras superan el límite máximo permisible (0.002 mg L^{-1}). En cuanto al contenido de plomo, 37 muestras superaron el límite máximo permisible establecido por la EPA (1986) (0.0015 mg L^{-1}), para aguas naturales.

Las concentraciones de As y Cd están por debajo de los límites permisibles, por lo que el agua puede ser utilizada en el riego agrícola. Sin embargo, se debe tener restricción de uso donde superó los límites de concentración de Pb y Hg.

Mancilla-Villa *et al.* (2012) realizaron un estudio en los ríos, embalses y manantiales de Puebla y Veracruz sobre el contenido de metales pesados donde el mercurio superó el límite máximo permisible señalado por la NOM-001-ECOL-1996 para uso urbano. Para el criterio de EPA (1986), se encontró que 1, 30, 15 y 20 % de las muestras analizadas supera el límite permisible para As, Pb, Cd y Hg, respectivamente. La zona objeto de estudio presenta características similares, esta diferencia de concentraciones se debe a la intensa actividad agrícola, industrial y urbanización, en los diferentes sitios de muestreo.

17.3 Conclusiones

El pH y la conductividad eléctrica de la mayoría del agua analizada, no limitan el uso urbano o para riego agrícola, por lo que es recomendable, en cuanto a estos dos parámetros.

De acuerdo a la concentración iónica las aguas se clasifican como bicarbonatadas-magnésicas.

El Hg superó los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-ECOL-1996 para 35% de las muestras.

En cuanto al criterio de SEDUE (1989), no existe problema en el uso del agua muestreada para recreación, como fuente de agua potable y en riego.

De acuerdo a los límites permisibles de la EPA (1986), 100% de los cuerpos de agua analizados exceden las concentraciones de Hg y 92.5% de Pb.

17.4 Referencias

Abollino O., Aceto M., Malandrino M., Mentaste E., Sarzanini C. y Barberis R. (2002).

Distribution and mobility of metals in contaminated sites. Chemometric investigation of pollutant profiles. *Environ. Pollut.* 119-127.

Agarwal, S. K. 2009. *Heavy Metal Pollution*. APH Publishing. 270 p.

APHA. 1995. *Standard methods for examination of water and wastewater*. APHA (American Public Health Association), WWA (American Water Works Association), WPCF (Water Pollution Control Federation), Washington D.C., USA. 1035 pp.

Barrios-Castillo I. M. 2014. *Calidad de aguas naturales y residuales en el sistema hidrográfico Valle de Mezquital, Hidalgo, México*. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo Texcoco, México. 155 p.

Bergues G. P. S. 2011. Evaluación de metales pesados en los suelos del coto minero manganésífero Cristo-Barrancas. *Mineralogía y Geología*. 27: 43-57.

Duffus, J. H. 2002. "Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report)" *Pure and Applied Chemistry*, Vol. 74, pp. 793-807.

EPA, 1986. *Gold Book of Quality Criteria for Water*. (Environmental Protection Agency) EPA 440/5-86-001. EUA. 477 p.

Gómez-Álvarez A., Villalba A.A., Acosta R.G., Castañeda O.M. y Kamp D. (2004). Metales pesados en el agua superficial del Río San Pedro durante los años 1997 y 1999. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28, 1-8.

Lamb D. T., Ming H., Megharaj M. and Naidu R. 2009. Heavy metal (Cu, Zn, Cd and Pb) partitioning and bioaccessibility in uncontaminated and long-term contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*. 171: 1150-1158.

Llugany M., Tolrá R., Poschnrieder C., Barceló J. 2007. Hiperacumulación de metales: ¿Una ventaja para la planta y para el hombre?. *Rev. Ecosistemas*. 16: 4-9.

Mancera-Rodríguez N. J., Álvarez-León R. 2006. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*. 11: 3-23

Martí L., Filippini M. F., Salcedo C., Drovandi A., Troilo S., Valdés A. 2011. Evaluación de metales pesados en suelos de los oasis irrigados de la Provincia de Mendoza: I. Concentraciones totales de Zn, Pb, Cd y Cu. *Rev. FCA UNCUYO*. 43: 203-221.

Martínez R., Luis Manuel, Demetrio Meza R., Ángel Aguirre A. y Josué Corza C. 2008.

Impacto de Metales Pesados en el Ecosistema Acuático del Río Ayuquila. Universidad de Guadalajara. Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Autlán de Navarro, Jalisco. Octubre. 24 p.

Méndez R. M., Armienta H. M. A. 2012. Distribución de Fe, Zn, Pb, Cu, Cd y As originada por residuos mineros y aguas residuales en un transecto del río Taxco en Guerrero, México. *Rev. Mex. Cienc. Geol.* 29 (2): 450-462.

Mor, F. & Ceylan, S.: "Cadmium and lead contamination in vegetables collected from industrial, traffic and rural areas in Bursa Province, Turkey", *Food Additives & Contaminants: Part A*, 25: 5, 611 – 615, 2008.

Moral R., Gilkes R.J. y Moreno-Caselles J. (2002). A comparison of extractants for heavy metals in contaminated soils from Spain. *Commun. Soil Sci. Plant An.* 33, 2781-2791.

NOM-002-ECOL-1996. Norma oficial mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Publicada en el diario oficial de la federación el 03 de junio de 1998. 20 p.

Prieto M.J., González R. C.A., Román G. A.D. y Prieto G.F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropic. Subtropic. Agroecosyst.* 10, 29-44.

Kheboian C. y Bouer C.F. (1987). Accuracy of selective extraction procedures for metal speciation in model aquatic sediments. *Anal. Chem.* 59, 1417-1423.

Riechaman, M. S. 2002. The responses of plants to metal toxicity: A review focusing on copper, manganese and zinc. *Australian minerals and Energy Environment Foundation* 54 p. Bolivian salars, Lipez, southern Altiplano: Origin of solutes and brine evolution. *Geochemica et Cosmochimica Acta*. 55: 687-705.

Santana, E., S. Navarro, L.M. Martínez, A. Aguirre, P. Figueroa, C. Aguilar. 1993.

Contaminación, aprovechamiento y conservación de los recursos acuáticos del río Ayuquila, Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, Jalisco-Colima. *Tiempos de Ciencia*. 30: 29-38.

Sarabia M. I. F., Cisneros A. R., Aceves de A. J., Durán G. H. M., Castro L. J. 2011. Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 27 (2): 103-113.

SEDUE, 1989. Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua CE-CCA-001/89. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Publicado en el Diario Oficial de la Federación del 2 de diciembre de 1989. Tomo CDXXX, No. 9. México, D.F.