

## Concentraciones de metales pesados totales en aguas residuales vertidas a ecosistemas acuáticos por dos parques industriales en Puebla, México

**María Noemí Bonilla y Fernández**

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

[nohemi119@hotmail.com](mailto:nohemi119@hotmail.com)

**Sonia Emilia Silva Gómez**

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

**José Silvestre Toxtle Tlamani**

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

**Juana Deisy Santamaría Juárez**

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

### Resumen

La insostenible explosión demográfica que ocurre a nivel mundial, ha originado que en la ciudad de Puebla, México se hayan venido incrementando los asentamientos humanos e industriales desde 1995, lo que ha generado un alto grado de deterioro en los ecosistemas acuáticos de los ríos Atoyac y Alseseca. El objetivo de esta investigación fue determinar las concentraciones de los metales pesados totales: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn en aguas residuales escasa o nulamente tratadas, vertidas por los parques industriales (PI): 5 de Mayo y Puebla 2000 a barrancas que las conducen a estos ecosistemas. Las concentraciones de Cd, Cr encontradas en ambos PI excedieron las concentraciones máximas permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996, así como los valores prioritarios de la USEPA, (2011). El níquel en ambos PI rebasó los límites máximos permisibles de la norma mexicana, excepto en la

estación dos del PI 5 de mayo y la nueve del PI Puebla 2000, sin embargo todas las estaciones rebasaron el valor prioritario aceptado por la USEPA (2011). Con los resultados de las concentraciones de los metales pesados totales y algunos parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua residual reportados por Bonilla *et al.*, (2013), se realizó el análisis estadístico con el programa SAS 9.0, aplicando la correlación de Pearson, con los resultados obtenidos se encontraron correlaciones significativas entre tratamientos.

**Palabras clave:** metales pesados totales, aguas residuales, parques industriales, ecosistemas acuáticos.

---

## Introducción

La causa principal de la contaminación de los ecosistemas acuáticos en la ciudad de Puebla, México se deriva de las descargas de aguas domésticas e industriales en su mayoría sin tratamiento alguno o muy deficiente, lo que ha provocado que una gran variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos entre ellos los metales pesados totales se encuentren presentes.

El río Atoyac nace del deshielo de los glaciares en la Sierra Nevada, en el estado de Puebla y cruza su extenso valle, así como también parte del estado de Tlaxcala. En el sur del municipio una parte de su caudal es almacenada en la presa Manuel Ávila Camacho y la otra parte es conducida a zona de riego de Atlixco e Izúcar de Matamoros. El río Alseseca es uno de los muchos ríos que nacen del inactivo volcán la Malintzi, en el estado de Tlaxcala, su caudal atraviesa el sur-oriental del estado de Puebla y de igual manera desemboca en el mismo embalse.

En su paso por la zona urbana de la ciudad de Puebla ambos ríos reciben las descargas de agua de origen urbano, industrial, pluviales y escurrimientos. Por su parte el río Atoyac al

nororiente de la ciudad recibe las descargas del parque industrial 5 de Mayo y el río Alseseca recibe las descargas del parque industrial Puebla 2000. Entre las industrias establecidas en estos parques industriales (en lo sucesivo PI) se encuentran: la química, metalmecánica, curtiduría, farmacéutica entre muchas otras, las cuales en sus procesos utilizan metales pesados, que son transportados por las aguas residuales arrojadas de forma clandestina a las barrancas cercanas a ellas y finalmente se incorporan a los ecosistemas de estos ríos.

La mayor parte de los efluentes de los ríos Atoyac y Alseseca son almacenados en la presa Manuel Ávila Camacho, comúnmente conocida como laguna "Valsequillo", construida en los años 40s para aprovechar los escurrimientos de estos ríos y beneficiar a la zona de riego Tecamachalco-Tehuacán la cual actualmente abarca una superficie de 32827 hectáreas beneficiando a 17 municipios del Distrito de Riego 030 "Valsequillo", (Ayala y González, 2011).

En México existen Normas Oficiales Mexicanas, entre ellas la NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 2003), que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales y en específico para los ríos en su uso en riego agrícola, uso público urbano, protección de la vida acuática, etc. Entre los parámetros que contempla esta norma se encuentran los metales pesados totales.

Por otro lado se cuenta también con la Declaratoria de Clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes (DOF, 2011) en la que se menciona que las aguas de estos ríos han sufrido alteración en su calidad debido a las descargas de aguas residuales provenientes de procesos industriales y asentamientos humanos, que vierten entre otros parámetros 0.14 toneladas al día de metales pesados y con base en el estudio de clasificación realizado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), ahí mencionado, se determinó que aun con el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996, (DOF, 2003), no ha suficiente para alcanzar la calidad del agua requerida para los usos de dichos cuerpos de agua.

La CONAGUA (2011) hace referencia a que México es un país de grandes contrastes y carencias respecto al agua. La distribución del recurso es muy variable regionalmente y se encuentra íntimamente ligada a la satisfacción de las necesidades sociales más básicas, puesto que la disponibilidad del agua en cantidad y calidad es una condición necesaria para hacer viable el desarrollo social, económico y ambiental de nuestro país.

Como consecuencia de esto la población beneficiada del Distrito de Riego 030 "Valsequillo" está siendo constantemente afectada por la presencia de metales pesados suspendidos y totales, además de otros contaminantes orgánicos e inorgánicos transportados por las aguas de los ríos Atoyac y Alseseca, que después de ser almacenadas en la presa, pasan a los suelos y cultivos de la zona a través del Canal Principal de Riego Valsequillo y una extensa serie de canales secundarios.

Ayala y González (2011), mencionaron que en el estado de Puebla están bien identificados los problemas que existen respecto al agua que es utilizada para el riego de los cultivos en el Distrito de Riego 030 "Valsequillo".

En primer lugar el problema tiene que ver con los niveles de contaminación que presentan las aguas almacenadas en la presa Manuel Ávila Camacho. La principal fuente de contaminación son los desechos industriales y domésticos de las ciudades de Tlaxcala y Puebla que son arrojados en las corrientes de los ríos Zahuapan, Atoyac y Alseseca arrastrados hasta los suelos de cultivo. Esto ha provocado que se hayan prohibido algunos cultivos de hortalizas, frutas y legumbres y sólo se permita la siembra de maíz, frijol, alfalfa, avena, haba y chile.

En segunda instancia, el problema se manifiesta además en la escasez de volumen para el riego. El agua sólo alcanza para hacer dos o tres riegos anuales y a veces, algunos agricultores se quedan sin agua. Esto se debe, a la cantidad de azolve en la presa y a la pérdida en la distribución, ya que algunos canales no están revestidos, a la escasez de lluvia en algunos años y la gran cantidad de regantes que utilizan el agua.

Es conocido que el uso de agua residual para la producción agrícola puede causar efectos nocivos en los suelos por el alto contenido de sales disueltas y metales pesados

suspendidos y disueltos, además de que el empleo de agua contaminada para riego es considerada como fuente potencial de contaminación para los cultivos, debido a que provoca alteraciones en el metabolismo de las plantas repercutiendo negativamente en la calidad y rendimiento, pudiendo con ello causar problemas en la salud de los pobladores y los consumidores.

Martell, (2007) mencionó que desde hace 30 años la presa “Valsequillo” ha recibido grandes cantidades de aguas residuales con altas concentraciones de contaminación biológica, orgánica e inorgánica, y que de acuerdo con los especialistas en medio ambiente la presa Manuel Ávila Camacho se ha convertido en una laguna de tratamiento de desechos industriales en Puebla.

Debido a lo mencionado anteriormente esta investigación tuvo como finalidad determinar las concentraciones de los metales pesados totales: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn por el método de absorción atómica de flama en muestras de aguas residuales vertidas en las barrancas cercanas a los parques industriales 5 de Mayo y Puebla 2000. Una vez obtenidos los resultados se compararon con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 2003) y con las concentraciones establecidas por la USEPA, (2011). Finalmente se realizó un análisis estadístico con el programa SAS 9.0, aplicando la correlación de Pearson, con la finalidad de conocer las correlaciones significativas entre los tratamientos.

### **Materiales y Métodos**

La descripción de los materiales y métodos de la investigación realizada fue descrita en primera instancia por Bonilla *et al.*, (2013), quienes determinaron la calidad de las aguas residuales para su uso en riego agrícola, sin embargo considerando su relevancia se da un breve resumen: el estudio fue prospectivo, descriptivo y observacional, el muestreo de las aguas residuales se organizó en dos etapas principales: de planeación y ejecución. Durante la etapa de planeación se delimitó el área de estudio, quedando conformada por secciones de los ríos ubicados al interior de tres barrancas que constituyen los límites físicos de dos parques industriales situados al norte del municipio de Puebla, el PI 5 de

Mayo y el PI Puebla 2000, los cuales se muestran en la Figura 1; el primero rodeado en su frontera Noreste por la barranca de Guadalupe y en el Sureste por una sección de la barranca Del Conde, como se observa en la Figura 2, la segunda delimitado en su frontera Este por una sección de la barranca de San Antonio o Manzanilla expuesto en la Figura 3, todas formadas y abastecidas por escurrimientos del volcán extinto la Malintzin.



Figura 1. El municipio de Puebla (amarillo), parques industriales (rojos) 5 de Mayo ubicado al Norte, Puebla 2000 al Sur.

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI/CONCyTEQ, 2010.



FIGURA 2. Parque Industrial 5 de Mayo (azul), secciones de barrancas (rojo) Guadalupe al Norte y el Conde al Sur, colonias cercanas (morado), central de abastos de la ciudad de Puebla (verde) y Fraccionamiento Industrial el Conde (naranja).

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2011.



Figura 3. Parque industrial Puebla 2000 e industrias cercanas (azul), sección de barranca San Antonio (rojo), colonias cercanas (morado), Estadios Cuauhtémoc y Hermanos Serdán (verde), Parque Industrial Resurrección (naranja).

Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo, 2011.

Bonilla *et al.*, (2013) también mencionaron que solamente la SOAPAP, brindó todas las facilidades para acceder a entrevistas con funcionarios de la misma dependencia, consulta de reportes públicos y una copia impresa del sistema de alcantarillado actualizado al 2009 del municipio de Puebla, donde previamente se habían solicitado planos o diagramas de los sistemas recolectores de agua residual en la ciudad de Puebla y de manera particular de aquellos ubicados cerca del área de estudio, así como del volumen de descarga estimado a las barrancas, ya que en visitas a los parques industriales se observaron salidas de drenaje de las industrias y de las casas habitación asentadas en los márgenes de las tres barrancas. De esta manera, se comprobó que si bien los parques industriales se encuentran conectados a la red de drenaje y alcantarillado municipal, una fracción de las industrias aún realizan descargas fuera de la red; sin embargo, en el caso de las la zona habitacional en las colonias circundantes al PI 5 de Mayo no es lo mismo, ya que algunas (caso PI 5 de Mayo) al ser “nuevas” no cuentan aún con los servicios públicos completos como alumbrado público, recolección regular de basura y drenaje público, mientras que otras (caso PI Puebla 2000) que ya cuentan con los servicios anteriores, mantienen un drenaje de agua residual hacia las barrancas.

La red de muestreo se muestra en las Figuras 4 y 5, se estableció utilizando imágenes satelitales e información recolectada en vistas a la zona, en donde se registraron coordenadas geográficas, así como los caminos de acceso a las barrancas eligiéndose diez estaciones para la toma de muestras, distribuidas en las barrancas de Guadalupe, Del Conde y San Antonio. Para la elección de las mismas se buscó que representaran lo mejor posible las características del efluente total, para lo cual se utilizaron tres criterios principales: la accesibilidad a los sitios, la existencia de drenajes (industrial y sanitario) hacia las barrancas y la disposición de sitios en la parte superior, media e inferior del cauce, Bonilla *et al.*, (2013).



La etapa de realización de la toma de muestras, se llevó a cabo durante el cambio entre la época de estiaje y la de lluvia. Para ello se consideró la metodología propuesta por la norma técnica NMX-AA-014-1980, (DOF, 1980).

Se eligieron un total de diez estaciones de muestras de agua residual de los dos parques industriales (PI) de la ciudad de Puebla, México, que difieren entre sí por los diferentes procesos industriales y por su origen, la adquisición de las muestras se realizó los días 11, 13 y 16 de mayo del 2012. Se utilizaron recipientes de polipropileno de 3.5 litros nuevos lavados con solución de ácido nítrico 1N, enjuagados con agua desionizada varias veces y al momento de la toma de cada muestra de agua se enjuagaron en tres ocasiones con la misma agua a analizar. Para los análisis de metales pesados totales las muestras fueron preservadas con HNO<sub>3</sub> concentrado (Merck SUPRAPUR<sup>®</sup>), hasta que se obtuvo un pH ≤ 2. Las muestras se colocaron en hileras a temperatura de 4°C y se enviaron a la Universidad Autónoma del estado de Hidalgo al Laboratorio del Área Académica de Química del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería para su procesamiento; la cuantificación de las concentraciones de metales pesados totales Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn se llevó a cabo implementando la metodología recomendada por el proyecto de norma PROY-NMX-AA-051/4-SCFI-2008 (DOF, 2009), la cual concuerda con la metodología del método: Method 3005A de la USEPA, (1992).

Para la determinación cuantitativa de las concentraciones de los metales pesados totales mencionados se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica de flama Varian Spectra A 880, utilizando lámparas de cátodo hueco y mezcla de aire-acetileno como oxidante y combustible respectivamente.

La metodología que se utilizó para obtener las concentraciones de los metales pesados totales por espectrofotometría de absorción atómica de flama fue la descrita en el proyecto de norma PROY-NMX-AA-051/4, (DOF, 2009), que concuerda con el método 7000b USEPA, (2007). Para hacer las digestiones ácidas se utilizaron ácido HNO<sub>3</sub> y HCl concentrados suprapuros, realizándose tres repeticiones, se utilizó una referencia

certificada apropiada de agua, además de los estándares certificados para cada metal analizado con los que se obtuvieron las curvas de calibración. Las concentraciones de cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{6+}$ ) fueron determinadas mediante espectrofotometría visible, implementando el método de la difenilcarbazida, desarrollando la metodología de la NMX-AA-044-SCFI-2001, (DOF, 2001).

El análisis estadístico se realizó con el programa SAS 9.0 aplicando la correlación de Pearson, se correlacionaron las concentraciones de los metales pesados obtenidas en esta investigación: Cd, Cr, Fe, Ni, Pb y Zn con las concentraciones de los indicadores evaluados para determinar la calidad del agua residual con fines de riego de la misma zona de estudio, reportados por (Bonilla *et al.*, 2013), entre ellos: calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT), grasas y aceites (GA), demanda bioquímica de oxígeno ( $\text{DBO}_5$ ), nitrógeno total ( $\text{N}_T$ ), cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y fósforo total ( $\text{P}_T$ ).



**Figura 4. Ubicación de las estaciones de muestreo en el PI 5 de Mayo.**

**Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo, 2011.**



**Figura 5. Ubicación de las estaciones de muestreo del PI Puebla 2000.**

**Fuente: elaboración propia con base en trabajo de campo, 2011.**

En el Cuadro 1. Se muestra la ubicación, coordenadas geográficas, altura en msnm y a que parque industrial corresponden las diez estaciones de muestreo de aguas residuales vertidas a los ecosistemas de los ríos Atoyac y Alseseca.

**Cuadro 1. Ubicación geográfica de las diez estaciones de muestreo de agua residual.**

E	Ubicación	Coordenadas Geográficas		Altura msnm	Parque Industrial
		Norte	Oeste		
1	Barranca de Guadalupe	19°05'58.70"	98° 11'08.20"	2225	5 de mayo
2	Barranca de Guadalupe	19°05'52.18"	98°11'27.02"	2247	5 de mayo
3	Barranca del Conde II	19°05'35.83"	98°11'30.50"	2200	5 de mayo
4	Barranca del Conde III	19°05'32.40"	98° 11'33.70"	2193	5 de mayo
5	Barranca del Conde (Avenida gasoducto)	19°05'26.50"	98° 11'45.20"	2192	5 de mayo
6	Barranca del Conde I	19°05'47.70"	98°11'10.28"	2225	5 de mayo
7	Barranca de San Antonio I	19°04'18.10"	98° 08'57.00"	2238	Puebla 2000
8	Barranca de San Antonio II (Atrás de Sony Gas)	19°04'10.60"	98° 08'59.30"	2219	Puebla 2000
9	Barranca de San Antonio	19°03'57.90"	98°09'09.50"	2227	Puebla 2000
10	Barranca de San Antonio III (Puente antigua Pepsi)	19°03'13.70"	98° 09'27.80"	2193	Puebla 2000

**Resultados y Discusión**

Los resultados de las concentraciones de los metales pesados totales expresados en  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  presentes en las aguas residuales vertidas a las barrancas por los PI 5 de Mayo y Puebla 2000 se muestran en la Cuadro 2, así como también los límites máximos permisibles en embalses naturales y artificiales, para uso en riego agrícola de la NOM-001-SEMARNAT-1996, (DOF, 2003) y los valores de contaminantes prioritarios aceptados por la USEPA, (2011).

Cuadro 2. Concentraciones de metales pesados  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de las estaciones de muestreo de aguas residuales, límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 2003) y USEPA, 2011.

E	PI	Concentración en $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$					
		Cd	Cr	Fe	Ni	Pb	Zn
1	5 de Mayo	3.87	1.90	8.12	3.25	0.31	0.88
2	5 de Mayo	4.60	2.65	6.59	1.86	0.34	1.57
3	5 de Mayo	4.50	2.46	5.54	2.66	0.26	0.41
4	5 de Mayo	3.68	1.99	7.69	2.77	0.21	1.46
5	5 de Mayo	5.79	2.75	5.92	2.32	1.46	0.98
6	5 de Mayo	4.48	2.36	4.99	4.06	0.23	1.70
<b>Promedio</b>		<b>4.49</b>	<b>2.35</b>	<b>6.47</b>	<b>2.82</b>	<b>0.47</b>	<b>1.17</b>
7	Puebla 2000	3.23	2.88	5.19	2.68	0.26	2.13
8	Puebla 2000	3.97	3.00	6.22	3.30	1.99	0.89
9	Puebla 2000	3945.00	2.14	9.93	1.35	0.02	0.15
10	Puebla 2000	3.98	2.00	7.04	2.89	2.21	1.47
<b>Promedio</b>		<b>3.73</b>	<b>2.50</b>	<b>7.10</b>	<b>2.55</b>	<b>1.12</b>	<b>1.16</b>
<b>NOM-021-SEMARNAT-1996</b>		0.20	1.00	NN*	2.00	0.50	10.0

USEPA, (2011)	0.04	0.20	10.00	0.30	0.10	2.00
---------------	------	------	-------	------	------	------

Para las muestras de agua residual del PI 5 de Mayo el Cd reveló valores que variaron de 3.68 mg·L<sup>-1</sup> a 5.79 mg·L<sup>-1</sup> con valor medio de 4.49 mg·L<sup>-1</sup>, observándose que rebasa el límite máximo permisible de la NOM-001-SEMARNAT-1996, (DOF, 2003) y el valor aceptado por la USEPA, (2011).

En el PI Puebla 2000 se encontró que la concentración de Cd en la estación nueve fue de 3945.00 mg·L<sup>-1</sup> resultando ser muy elevada comparada con las concentraciones encontradas en las otras estaciones de muestreo, esto posiblemente se debió a una descarga clandestina muy puntual, realizada el día que se efectuó el muestreo; debido a la diferencia tan grande encontrada no se tomó en cuenta en el cálculo del promedio con las demás estaciones de muestreo. Mientras que en las demás estaciones se encontró una concentración máxima de 3.98 mg·L<sup>-1</sup> y mínima de 3.23 mg·L<sup>-1</sup> con un promedio de 3.73 mg·L<sup>-1</sup> el cual se encuentra por encima del valor máximo de la normatividad mexicana y del valor aceptado por la USPA, (2011). Las concentraciones encontradas rebasan por mucho la normatividad mexicana como la norteamericana. El nivel promedio de Cd en suelos ha sido ubicado entre 0.07 y 1.1 mg·Kg<sup>-1</sup>, con un nivel base natural que no exceda de 0.5 mg·Kg<sup>-1</sup> (Kabata-Pendías, 2011). Es alarmante que sean arrojados a los ecosistemas acuáticos residuos peligrosos que contengan este metal pesado, debido a los problemas que ocasionan a los suelos, plantas, animales y seres humanos.

El Cr en las muestras de agua residual del PI 5 de Mayo mostró valores entre 1.90 mg·L<sup>-1</sup> a 2.75 mg·L<sup>-1</sup> con valor medio de 2.35 mg·L<sup>-1</sup>, que rebasan el límite máximo permisible de la NOM-001-SEMARNAT-1996 y el valor de USEPA, (2011).

Para el PI Puebla 2000 se encontró una concentración máxima de Cr de 3.00 mg·L<sup>-1</sup> y una mínima de 2.00 mg·L<sup>-1</sup> con un valor medio de 2.50 mg·L<sup>-1</sup>, valores que exceden el valor máximo de la normatividad mexicana y el límite del valor prioritario de la USEPA, (2011).

Las concentraciones de Cr reportadas en ambos parques industriales rebasan por mucho las concentraciones permisibles de ambas normatividades, constituyendo un importante riesgo al ambiente, debido a que al integrarse a los cuerpos acuáticos posteriormente entra a los suelos, plantas y animales generando graves problemas de salud. Ávila *et al.*, (2007) mencionaron que la presencia de Cr en cuerpos de agua naturales está asociada a fuentes domésticas y provenientes de la industria.

Las concentraciones de Fe total en el PI 5 de Mayo variaron  $4.99 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  como mínima y  $8.12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  como máxima con un promedio de  $6.47 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; según la lista de contaminantes prioritarios de la USEPA, (2011) la concentración máxima en agua es de  $10.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , por tanto se concluye que ninguna de las estaciones de este PI rebasó el valor prioritario. Es importante destacar que la norma mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 no establece un límite máximo de concentración para Fe.

Para las muestras de agua residual del PI Puebla 2000 el Fe mostró valores que variaron de  $5.19 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  a  $9.93 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  con valor medio de  $7.10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , observándose que el valor máximo encontrado se encuentra muy cercano al valor prioritario de la USEPA, (2011). Ávila *et al.*, (2007) encontraron concentraciones de  $0.16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  en agua del río Lerma que se pueden considerar relativamente bajas y pueden ser asociadas a emisiones naturales.

Para el PI 5 de Mayo el níquel (Ni) mostró valores que variaron de  $1.86 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  a  $4.06 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  con valor medio de  $2.82 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , observándose que solo la estación dos no excedió el límite de la normatividad mexicana, sin embargo las concentraciones encontradas en promedio rebasaron el límite máximo permisible de la NOM-001-SEMARNAT-1996, y el valor aceptado por la USEPA, (2011).

En las estaciones de muestreo del PI Puebla 2000 se encontró una concentración mínima de Ni de  $1.35 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y una máxima de  $3.30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , con un promedio de  $2.55 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , excediendo el límite máximo de la normatividad mexicana y valor prioritario de la USEPA, (2011).

Es evidente que las diferencias entre las concentraciones permitidas por la normatividad mexicana y los valores prioritarios de la USEPA, (2011) para la regulación de las concentraciones de metales pesados totales son muy grandes, la normatividad mexicana permite para este metal una concentración de  $2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , mientras que la USEPA, (2011) permite concentraciones de hasta  $0.30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Esta diferencia de concentraciones muestra la flexibilidad de la normatividad mexicana en cuanto a las concentraciones de los metales pesados totales y suspendidos (aún no se encuentran normados), es de esperarse que al paso de los años la bioacumulación presentará una mayor contaminación en los ecosistemas acuáticos, suelos, plantas y por ende en la cadena trófica en nuestro país, generando graves problemas socioeconómicos y de salud. En Rusia se han reportado concentraciones de Ni en suelo que van de 6.25 a  $136.88 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$  ocasionando bioacumulación y así daños a los cultivos siendo que no se ha encontrado evidencia de función como micronutriente en las plantas (Kabata-Pendias, 2011).

Las concentraciones de Pb encontradas en el PI 5 de Mayo presentaron un valor máximo de  $1.46 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y un mínimo de  $0.21 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  con promedio de  $0.47 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Sólo la estación cinco rebasó la normatividad mexicana, las demás concentraciones se encontraron por debajo, en cuanto a la normatividad norteamericana las concentraciones encontradas superaron la concentración el valor prioritario.

En el PI Puebla 2000 la concentración mínima de Pb fue de  $0.02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y la máxima de  $2.21 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  con un promedio de  $1.12 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , el cual superó la concentración máxima de la NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 2003) y el valor de la USEPA, (2011) también fue



superado. Vasiel, (2011) mencionó que  $0.01 \text{ mg}\cdot(100\text{ mL})^{-1}$  de Pb en sangre puede representar riesgos a la salud, el Pb siendo muy utilizado por la industria como pigmento y en la fabricación de acumuladores entre otros usos, actualmente ha sido controlado, disminuyendo sus concentraciones. Como se observan fueron pocas las estaciones en que las concentraciones excedieron la normatividad mexicana, no así con la normatividad norteamericana, con esto podemos señalar nuevamente que la normatividad nacional se muestra muy permisible en cuanto a la concentración normada para este metal pesado tan perjudicial para la salud

En cuanto al Zn en las estaciones del PI 5 de Mayo se encontraron concentraciones que variaron de  $0.41 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  a  $1.70 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  con valor medio de  $1.17 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , las cuales no rebasaron el límite máximo permisible de la NOM-001-SEMARNAT-1996, (DOF, 20003) ni la concentración prioritaria de la USEPA, (2011) que es de  $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  respectivamente.

En el PI Puebla 2000 se encontró que la concentración máxima para el Zn fue de  $2.13 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y la mínima de  $0.15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  con un promedio de  $1.16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  el cual se encuentra por debajo del valor permisible de la normatividad mexicana y la normatividad norteamericana. Exceptuando a la estación 7 que rebasó el valor prioritario de la USEPA, (2011). Aunque el Zn es un micronutriente y es aprovechado por las plantas, una vez en el ambiente generalmente permanece en el suelo, ya que forma compuestos insolubles. Sin embargo, es uno de los metales pesados más móviles debido a que se encuentra en forma soluble a pH neutro o ácido. A pH alcalino puede formar carbonatos e hidróxidos de cinc (Volke *et al.*, 2005).

Mertens y Smolders, (2013) mencionaron que el Zn está presente de forma natural en todos los suelos en concentraciones normales de  $10$  a  $100 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ , puede presentar efectos de intoxicación en suelo, plantas, invertebrados y microorganismos a concentraciones de  $100$  a  $1000 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ .

En el Cuadro 3 se muestran las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos de las diez estaciones de muestreo de las aguas residuales arrojadas de manera clandestina a las barrancas asentadas en los alrededores de los PI 5 de Mayo y Puebla 2000, reportados por Bonilla *et al.*, (2013), las que junto con las concentraciones de los metales pesados totales obtenidos en esta investigación mostradas en el Cuadro 2 se utilizaron para realizar el análisis de correlación de Pearson.

Se sabe que en el análisis estadístico las correlaciones se consideran significativas cuando estas tienen valores mayores a 0.5 ó -0.5 por lo que a medida que los valores se acercan al 1 ó -1 la correlación se hace más fuerte.

Las mayores correlaciones encontradas que alcanzaron valores de 0.9 indican una alta correlación entre estos parámetros demostrando que si aumenta uno el otro también lo hace de igual manera, en el caso de las correlaciones negativas si bien fueron pocas con valores de -0.9 nos indican que si un par aumenta el otro disminuye invariablemente.

Cuadro 3. Concentraciones de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales arrojadas por los PI 5 de Mayo y Puebla 2000.

Parámetros Fisicoquímicos en mg·L <sup>-1</sup>	ESTACIONES DE MUESTREO									
	1 5 de Mayo	2 5 de Mayo	3 5 de Mayo	4 5 de Mayo	5 5 de Mayo	6 5 de Mayo	7 Puebla 2000	8 Puebla 2000	9 Puebla 2000	10 Puebla 2000
pH	7.3	7.6	6.7	7.3	7.7	6.8	5.7	7.0	7.4	7.2
CE μS·cm <sup>-1</sup>	1265	876	2960	4160	2920	3260	1309	1985	2720	1742
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	9.60	3.20	9.60	12.80	12.80	9.60	9.60	14.40	16.00	12.80
SST	8.89	37.5	338.46	566.67	138.10	37.78	100.00	26.30	316.67	50.00
SDT	809.60	560.64	1894.40	2662.40	18.68.80	2086.40	837.76	1270.40	1740.80	1114.88
GA	1032.20	56.00	1000.00	792.00	232.00	1227.27	383.00	783.80	295.00	350.00
DBO <sub>5</sub>	4052.68	4052.68	5268.49	5268.49	2026.34	405.27	1621.07	405.27	7294.83	5268.49
N <sub>T</sub>	56.00	28.00	28.00	42.00	42.00	28.00	56.00	28.00	28.00	28.00
Cl <sup>-</sup>	35.45	62.39	153.14	258.79	64.52	129.04	54.59	179.38	112.02	148.89
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	60.12	105.02	242.29	439.43	108.12	208.23	89.54	288.48	182.17	238.68
P <sub>T</sub>	0.04	0.08	4.29	5.57	2.82	49.70	55.78	49.18	0.57	0.69
Ca <sup>2+</sup>	92.99	76.95	163.53	211.62	125.05	67.33	150.70	96.19	89.78	86.57
Mg <sup>2+</sup>	27.34	9.76	27.34	72.26	33.20	48.82	13.67	60.54	33.20	31.25
Na <sup>+</sup>	115.20	59.80	199.90	310.10	174.90	222.20	95.00	336.2	378.60	322.3
K <sup>+</sup>	29.20	18.10	44.20	48.40	34.20	33.80	45.00	50.00	35.40	47.70

Fuente: Calidad del agua residual no entubada vertida por dos parques industriales en la ciudad de Puebla, México, Bonilla *et al.*, (2013)

En el Cuadro 4 se muestran los resultados del análisis estadístico de correlación para el PI 5 de Mayo, obteniéndose los siguientes resultados significativos:

Cuadro 4. Correlaciones de los parámetros fisicoquímicos con las concentraciones de metales pesados totales obtenidas, las más significativas fueron las marcadas con \*

Cd – Cr = 0.88089	Cd – Pb = 0.87540	Cr – Pb = 0.59067	Na –Ca = 0.71862
K – Ca = 0.85285	<b>K – Na = 0.91229*</b>	pH – Pb = 0.60438	CE – Ca = 0.67444
<b>CE – Na = 0.97343*</b>	CE – HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> = 0.77814	CE – SST = 0.74021	CE – K = 0.88534
HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> – Ca = 0.60651	HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> – Na = 0.76762	HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> – K = 0.77920	
<b>SST – Ca = 0.97185*</b>			
SST – Na = 0.76762	SST – K = 0.85579	SST – HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> = 0.52814	SDT – Ca = 0.67807
<b>SDT – Na = 0.97922*</b>	SDT – K = 0.89515	<b>SDT – CE = 0.99901*</b>	SDT – HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> = 0.79715
SDT – STT = 0.73864	GA – Ni = 0.88341	DBO <sub>5</sub> – Fe = 0.57921	DBO <sub>5</sub> – Ca = 0.65952
DBO <sub>5</sub> – SST 0.60401	NT – Fe = 0.78567	Cl – Ca = 0.79104	Cl – Na = 0.88780
Cl – K = 0.82069	Cl – CE = 0.82988	Cl – SDT = 0.82588	<b>Cl – SST = 0.90609*</b>
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> – Ca = 0.79682	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> – Na = 0.88517	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> – K = 0.80946	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> – CE = 0.82279
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> – SDT = 0.81929	<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> – Cl = 0.99863*</b>	<b>CE – SST = 0.90960*</b>	P <sub>T</sub> – Ni = 0.79938
P <sub>T</sub> – Zn = 0.50916	P <sub>T</sub> – GA = 0.55022		

En el Cuadro 5 se observan las correlaciones significativas del parque industrial Puebla 2000:

Cuadro 5. Correlaciones de los parámetros fisicoquímicos con las concentraciones de metales pesados totales obtenidas, las más significativas fueron las marcadas con \*

<b>Cd – Fe = 0.92839*</b>	Cr – Ni =0.53393	Cr – Ca =0.60078	Ni – Pb = 0.77382
Ni – Zn =0.58196	Zn – Ca =0.73853	Mg – Pb = 0.58120	Na – Fe = 0.74470
<b>K – Ni = 0.99734*</b>	K – Pb = 0.81388	K – Zn = 0.56608	pH – Fe = 0.76779
CE – Cd = 0.88110	<b>CE – Fe = 0.93774*</b>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> – Cd = 0.68386	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> – Fe = 0.82555
<b>SST – Cd = 0.97274*</b>	SST – Fe = 0.84172	SDT – Cd = 0.88110	<b>SDT – Fe = 0.93774*</b>
GA – Cr = 0.74706	GA – Ni = 0.70359	GA – Pb = 0.52247	DBO <sub>5</sub> – Cd = 0.76203
DBO <sub>5</sub> – Fe = 0.86957	N <sub>T</sub> – Zn =0.76745	<b>N<sub>T</sub> – Ca = 0.99119*</b>	Cl – Pb = 0.80746
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> – Pb = 0.80140	<b>P<sub>T</sub> – Cr = 0.97614*</b>	PT – Ni = 0.56735	P <sub>T</sub> – Zn = 0.53260
P <sub>T</sub> – Ca = 0.73773	Mg – Na = 0.68134	Mg – pH = 0.58384	Mg – HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 0.65394
<b>Na – pH = 0.98861*</b>	Na – CE = 0.83006	<b>Na – HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 0.94881*</b>	CE – pH = 0.80243
<b>pH – HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 0.90919*</b>	<b>CE – HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 0.94745*</b>	CE – SST = 0.74750	SDT – Na = 0.83006
SDT – pH = 0.80243	<b>SDT – HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> =0.94745*</b>	SDT – SST = 0.74750	GA – Mg = 0.79842
GA – K = 0.67819	DBO <sub>5</sub> – Na = 0.50820	DBO <sub>5</sub> – pH = 0.60116	DBO <sub>5</sub> – CE = 0.64634
DBO <sub>5</sub> – SST = 0.74716	<b>Cl – Mg = 0.90537*</b>	Cl – Na = 0.77005	Cl – pH = 0.72978
Cl – HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> = 0.61932	<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> – Mg = 0.90863*</b>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> – Na = 0.77411	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> – pH = 0.73288
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> – HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> =0.62620	P <sub>T</sub> – K = 0.50591	<b>CE – SDT = 1.00000*</b>	SDT – DBO <sub>5</sub> = 0.64634
GA – Cl = 0.60022	GA – SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> =0.60123	GA – P <sub>T</sub> = 0.63152	N <sub>T</sub> – P <sub>T</sub> =0.64822
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> – Cl = 0.99995*</b>			

## Conclusión

Las concentraciones de Cd encontradas en las muestras de agua residual de los PI 5 de Mayo y Puebla 2000 excedieron en gran cantidad los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996, (DOF, 2003) y los valores prioritarios de la USEPA, (2011).

Para el Cr se obtuvieron concentraciones hasta de  $3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , siendo que la normatividad mexicana tiene como valor máximo permisible  $1.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  como valor prioritario para la USEPA, (2011).

En cuanto a las concentraciones encontradas de Ni en las descargas de aguas residuales por ambos parques industriales, se encontró que solo dos muestras no excedieron el límite máximo permisible de la normatividad mexicana, la estación dos del PI 5 de Mayo y la nueve del PI Puebla 2000. Sin embargo, respecto al valor prioritario de la USEPA, (2011), de  $0.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  todas las estaciones rebasaron este límite.

Para las concentraciones de Pb se observó que en el PI 5 de Mayo sólo la estación 5 y las estaciones 8 y 10 del PI Puebla 2000 excedieron el límite máximo permisible de la normatividad mexicana, sin embargo de las diez estaciones de muestreo, sólo la estación nueve no excedió el valor prioritario de la USEPA. (2011). García *et al.*, (2011) reportaron un intervalo de concentraciones de plomo en el alto Atoyac de  $0.00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  a  $1.05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . Con los resultados de estos autores se observó que en el alto Atoyac no presentó contaminación en cuanto a este metal, comparando los resultados de esta investigación, se hace evidente que la contaminación por este metal es ocasionada por las descargas de los parques industriales de la ciudad de Puebla y que repercuten al medio y bajo Atoyac, originando contaminación en el agua de los ecosistemas acuáticos del río Atoyac y Alseseca que pueden repercutir en la calidad del agua de la presa Valsequillo y en el uso para el riego agrícola del Distrito de Riego 030 "Valsequillo".

El Fe presentó solo en la estación nueve del PI Puebla 2000 una concentración muy cercana al límite máximo permisible de la USEPA (2011), posiblemente causada por una descarga muy puntual, en el resto de estaciones de muestreo las concentraciones que se encontraron fueron bajas. Cabe mencionar que en la normatividad mexicana no se encuentra normado este metal.

Mancilla *et al.*, (2012) mencionaron que en cuerpos de agua en los cuales incluyeron al río Atoyac, el contenido de metales pesados en los ríos, embalses y manantiales de Puebla y Veracruz está por debajo de los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996, (DOF, 2003) y que con base en sus resultados se recomienda su uso sin restricciones para riego agrícola y uso urbano. Los resultados de estos autores concuerdan con los obtenidos en esta investigación, puesto que las estaciones de muestreo de aguas residuales vertidas directamente a las barrancas muestran la gran contaminación con metales pesados.

Zn fue el metal que hizo la excepción porque presentó concentraciones que no rebasaron las concentraciones máximas permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Los altos contenidos de estos contaminantes y otros de naturaleza orgánicas, microbiológica y fisicoquímicos no permiten a los ecosistemas acuáticos de los ríos Atoyac y Alseseca tener procesos eficientes de autodepuración, por la gran carga contaminante antropogénica que conducen.

Los resultados del análisis estadístico de correlación resultaron ser muy heterogéneos, sin embargo, se encontraron muchas correlaciones significativas entre los tratamientos y que de manera general los metales pesados se correlacionaron significativamente entre ellos y además con los parámetros fisicoquímicos: CE, SST, SDT,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{N}_\text{T}$ ,  $\text{P}_\text{T}$  y  $\text{DBO}_5$ , significativamente. Los resultados indican que las aguas residuales de los PI 5 de Mayo y Puebla 2000, no tienen tratamiento alguno antes de ser arrojadas a las barrancas.

Por lo antes mencionado se recomienda a las autoridades correspondientes, ONGs y ciudadanos a realizar acciones para contrarrestar las condiciones que presentan las descargas clandestinas de los parques industriales de nuestro Estado.

Exhortar a los implicados a que sus plantas de tratamiento sean adecuadas para que cumplan con los valores establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, (DOF, 2003), y en un futuro no muy lejano con la DECLARATORIA de clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes, (DOF, 2011) que contempla parámetros de calidad de agua incluyendo metales pesados, la cual para su cumplimiento menciona plazos. El primero fue para el 2012 en el que las concentraciones de metales pesados se encuentran muy por debajo de las condiciones encontradas en esta investigación.

## Bibliografía

- Ávila, P.P., Zarazúa, G., Tejeda, S., Barceló Q.I., Díaz D.C. y Carreño, L.C. (2007). Evaluation of distribution and bioavailability of Cr, Mn, Fe, Cu, Zn and Pb in the waters of the upper course of the Lerma River. *X-Ray Spectrom*, 36, p.p. 361-368.
- Ayala, O.A.I. y González, C.S., (2011). Determinación fisicoquímica y de metales pesados del agua del canal principal y canales secundarios que benefician al distrito de riego 030 "Valsequillo". Tesis de Licenciatura, BUAP, Puebla, México.
- Diario Oficial de la Federación, (1980). NMX-AA-014-SCFI-1980 Análisis de aguas – Cuerpos receptores. Muestreo.
- Diario Oficial de la Federación, (2001) NMX-AA-044-SCFI-2001 Análisis de aguas - determinación de cromo hexavalente en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.



Diario Oficial de la Federación, (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 Que establece los límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales y sus bienes nacionales.

Kabata-Pendias, A., (2011). *Trace Elements in Soils and Plants*. Florida: Taylor y Francis Group.

Mertens, J., y Smolders, E., (2013). Zinc. En B.J. Alloway (Ed.) *Heavy metals in soils* (pp. 465-493). Whiteknights, Reading, UK: Springer.

USEPA, (2006). *Residential Leads Hazard Standards-TSCA*. Washington D.C.: Unites Estates Environmental Protection Agency.

Vasile, O., Simona R., Mirela, C., y Anca D.O., (2011) Lead occurrence in children's biological fluids from baia mare area, Romania. *NATO Science for Peace and Security Series - C: Environmental Security*. 101-122.

Volke, S.T., Velasco, T.J.A. y de la Rosa, P.D.A., (2005). Principales fuentes de contaminación. En: *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. México: Instituto Nacional de Ecología , p. 20.

#### Referencias electrónicas

Bonilla, F.M.N., Silva, G.S.E. <sup>3</sup>José Silvestre Toxtle T. J. S. y Cabrera, M.C., (2013). Calidad del agua residual no entubada vertida por dos parques industriales en la ciudad de Puebla, México

Disponible en : [http://ride.org.mx/docs/publicaciones/10/manejo\\_de\\_agua/E01.pdf](http://ride.org.mx/docs/publicaciones/10/manejo_de_agua/E01.pdf).  
Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo ISSN 2007 – 2619.  
Publicación # 10 Enero – Junio 2013 RIDE. Fecha de consulta: 19 de octubre de 2014.

CONAGUA 2011, Estadísticas del Agua en México 2011. Disponible en: <http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=87&n4=29>. Fecha de consulta: 27 de abril de 2014.

Diario Oficial de la Federación, (2009) Proyecto de Norma Mexicana PROY-NMX-AA-051/4-SCFI-2008 Disponible en: <http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2009/proy-nmx-aa-051-4-scfi-08.pdf>. Fecha de consulta: 27 de abril de 2014.

Diario Oficial de la Federación, (2011) Declaratoria de clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5199672&fecha=06/07/2011](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5199672&fecha=06/07/2011) Fecha de consulta: 27 de abril de 2014

Martell, M. (2007). La presa Manuel Ávila Camacho se ha convertido en una laguna de tratamiento de desechos industriales en Puebla Disponible en: [http://www.intoleranciadiario.com/nuevo/despliegue-noticia.php?id\\_noticia=24421#](http://www.intoleranciadiario.com/nuevo/despliegue-noticia.php?id_noticia=24421#) Consultado el 25 de abril 2010.

METHOD 3005A. USEPA (1992), Acid digestion of waters for total recoverable or dissolved metals for analysis by flaa or icp spectroscopy. Disponible en: <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3005a.pdf> Fecha de consulta: 27 de abril de 2014.

METHOD 7000B. USEPA (2007), Flame atomic absorption spectrophotometry. Disponible en: <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/7000b.pdf> Fecha de consulta: 27 de abril de 2014.