

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE METALES PESADOS EN EL LAGO DE ILOPANGO, EL SALVADOR

ABNER J. COLÓN-ORTIZ
Doctor en Educación
Profesor en la Pontificia Universidad Católica de Puerto Rico
abner_colon@pucpr.edu

Recibido: 10/10/16
Aceptado: 04/03/17

RESUMEN

El lago Ilopango está localizado entre tres departamentos de El Salvador: San Salvador, Cuscatlán y La Paz. De acuerdo con Arévalo y Castañeda (2012), el lago recarga acuíferos, almacena agua, controla inundaciones en la región y ofrece recursos pesqueros y belleza escénica para el turismo y la recreación. Sin embargo, en 2015, a través de la gestión pública, inició la extracción de agua del lago para abastecer la capital salvadoreña (Videla, 2015). Por tal razón, en esta investigación se estudió la presencia y concentración de elementos contaminantes como parte de un monitoreo de la calidad del agua para el consumo humano. Se hizo un muestreo simple en seis puntos del lago, distinguidos como: A, B, C, D, E y F. Estas muestras se analizaron mediante un inductor de plasma acoplado por emisión de espectroscopia óptica (ICP-OES 3300 XL). Entre los resultados se encontró evidencia de elementos contaminantes como: arsénico (As), berilio (Be), cadmio (Cd), selenio (Se), talio (Tl) y plomo (Pb). Sin embargo, estos elementos contaminantes sobrepasaron los límites permitidos para el uso y consumo humano que establece la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Palabras clave: El Salvador, lago de Ilopango, minerales contaminantes.

STUDY ON HEAVY METALS IN LAKE ILOPANGO, EL SALVADOR

ABSTRACT

Lake Ilopango is located between three departments of El Salvador: San Salvador, Cuscatlán, and La Paz. According to Arévalo & Castañeda (2012), the lake fills aquifers, stores water, controls floods in the region, and offers fishing resources and scenic beauty for tourism and recreation. However, in 2015, the Salvadoran government began the extraction of water from the lake to supply the Salvadoran capital with drinking water (Videla, 2015). For this reason, this study investigated the presence and level of concentration of contaminants as part of a water quality monitoring for human consumption. Simple sampling was done at six points on the lake, indicated as: A, B, C, D, E and F. These samples were analyzed by an inductor of plasma coupled

by emission of optical spectroscopy (ICP-OES 3300 XL). The results showed evidence of water pollution by heavy metals such as arsenic (As), beryllium (Be), cadmium (Cd), selenium (Se), thallium (Tl) and lead (Pb). Moreover, these contaminants exceeded the limits allowed for human use and consumption established by the US Environmental Protection Agency (EPA).

Keywords: El Salvador, Lake Ilopango, Contaminants.

INTRODUCCIÓN

Este lago de origen volcánico mide 8 km × 11 km, tiene una superficie de 72 km² y una profundidad máxima de 230 m (Escalante y Rivas, 2014), lo que lo convierte en el lago más grande de El Salvador. De acuerdo con Arévalo y Castañeda (2012), el lago provee servicios como recarga de acuíferos y almacenamiento de agua, control de inundaciones, producción pesquera, belleza escénica, turismo y recreación.

La vegetación de la cuenca en el lago de Ilopango es de bosque subcaducifolio de carácter secundario (Arévalo y Castañeda, 2012). Actualmente, su cobertura vegetal está alterada debido a la gran actividad humana que ejerce presión en el recurso pétreo, como la agricultura con fertilizantes, herbicidas e insecticidas, que lo contaminan por la escorrentía. Otro elemento que ha alterado la cobertura es el desarrollo de complejos turísticos y habitacionales cercanos (Escalante y Rivas, 2014). Según Bundschuh, Pérez y Litter (2008), la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), institución estatal encargada de la explotación de acuíferos y distribución de agua potable, colectó datos de algunos elementos químicos contaminantes en años recientes, pero desafortunadamente no ha hecho públicos los resultados. De ahí, precisamente, la urgencia de socializar los resultados de esta y de otras investigaciones que ayuden a medir el impacto negativo de la contaminación química de este recurso, pero sobre todo, a impedirlo.

Revisión de literatura

Para López, Monterrosa, Soriano, Barahona, Olmos & Bundschuh (2009), las concentraciones de arsénico (As) y boro (B) en el lago de

Ilopango hacen que el agua no sea apta para el consumo humano. Estos investigadores analizaron las concentraciones de distintos oligoelementos e iones importantes en el lago a partir de 13 muestras en el agua y los sedimentos a varias profundidades, que oscilaban entre 8 y 37 metros. Las muestras se obtuvieron del perímetro y del centro del lago, donde se formaron unas islas durante la erupción en 1879 y 1880. Los sitios se seleccionaron con base en la accesibilidad para los buzos y la topografía del fondo del lago.

López *et al.* (2009) encontraron que las concentraciones de arsénico en el agua fueron de 0.29 a 0.78 mg/L, mientras que las concentraciones de arsénico en los sedimentos fueron elevadas en los Cerros Quemados o Isla de las Tres Vírgenes (86 mg/kg de sedimento). Los autores también analizaron la presencia de otros elementos en el agua y los sedimentos, como bario (Ba), cobalto (Co), hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu), plomo (Pb), níquel (Ni), cromo (Cr) y litio (Li). El arsénico y otros elementos metálicos fueron analizados mediante un espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito. López *et al.* (2009) concluyeron que la interacción de fluidos volcánicos-hidrotermales genera las altas concentraciones de elementos observados en el agua.

Por otro lado, en 2008 se publicaron resultados de la presencia de algunos metales en el lago Ilopango, el lago Coatepeque y la laguna de Olomega. De acuerdo con Bundschuh, Pérez y Litter, se encontró arsénico en la mayoría de los cuerpos de agua de El Salvador. En el lago de Coatepeque, la concentración de arsénico que ha sido medida en las aguas tiene un rango que oscila entre 0.09 y 3.09 mg/L. En las aguas del lago de Ilopango, ya documentado por López *et al.*

(2009), la concentración de arsénico oscila entre 0.29 y 0.78 mg/L. En la laguna de Olomega, la concentración ha sido de 4.21 mg/L, la más alta que se ha encontrado en El Salvador.

La investigación referida explica que tales valores son más altos que 0.010 mg/L, el máximo permitido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y la Organización Mundial para la Salud (OMS). A Bundschuh *et al.* les preocupó identificar que la mayoría de habitantes que viven en las riberas de lagos y lagunas se sirvan directamente de sus aguas para uso doméstico y que muchas familias se contaminan indirectamente en actividades productivas como la pesca y la agricultura, por el riego de los cultivos.

La concentración de metales y otros elementos en los cuerpos de agua se ha ido monitoreando en muchos países, tal es el caso de Abubakar, Aliyu Ja'afar *et al.* (2015), que en 2015 investigaron la presencia de metales en la superficie del agua en Kaduna, Nigeria. Se trató de un estudio para conocer las fuentes de contaminación alrededor y en los desagües del río Kaduna. De un total de cinco muestras, cuatro se tomaron a intervalos de 100 m y uno a 50 m. Los resultados de esta investigación revelaron la presencia de Cr, Fe, Cu, Zn, As y Pb. El Cr y el Pb superaron el límite aceptado en todas las muestras, mientras que el Fe y el As solo superaron el límite en las muestras A y B. Por los resultados, los autores asociaron la contaminación con las descargas de aguas urbanas, municipales e industriales.

Otro estudio llevado a cabo en el golfo Pérsico por Monikh, Fazel Abdolahpur *et al.* (2005) analizó la concentración de metales en 15 sedimentos, 50 camarones y 60 muestras de dos especies de peces. Para ello, seleccionaron tres localidades de muestreo, incluyendo la desembocadura del río Arvand, el estuario Meleh y el estuario Musa.

Las concentraciones de metales fueron determinadas con un espectrómetro de absorción atómica. Los sedimentos y organismos de la

desembocadura del río Arvand mostraron mayor concentración de metales que las demás áreas. Los investigadores demostraron el resultado de influencias antropogénicas en la presencia de metales y que los niveles de metales en el hígado del pez y en el hepatopáncreas del camarón eran significativamente más altos que en los tejidos de músculos y branquias. Además, identificaron bioacumulación de metales en los peces y los camarones, demostrando así que las concentraciones en los organismos fueron mayores que las del agua superficial.

En otro estudio realizado en el lago Junín de Perú por Iannacone *et al.* (2007) se comprobó el efecto toxicológico de concentración de metales en el agua en el organismo invertebrado *Chirohomus calligraphus*. El objetivo de la investigación fue determinar el grado de toxicidad por metales en muestras de aguas superficiales de tres localidades del lago Junín, Perú, usando como medio ecotoxicológico al organismo *C. calligraphus*. Se emplearon cinco diluciones: 6.25%; 12.5%; 25%; 50% y 100%, con el fin de determinar la concentración letal media para todas las muestras de agua procedentes de los tres puntos de estudio del lago Junín.

Los resultados demostraron que las concentraciones de Pb y Cd estuvieron por encima de los límites máximos permitidos en Perú. Los metales Mn y Zn causaron los efectos ecotoxicológicos de mortalidad en términos de concentración letal media observados en los bioensayos con *C. calligraphus* con las muestras de las tres localidades. Sin embargo, la disminución de la toxicidad ocurrió por la disminución del pH y con un aumento del Fe (Iannacone *et al.*, 2007).

No obstante, un estudio realizado por Colón y Sotomayor en 2016 determinó la presencia y concentración de más de 11 elementos distintos en una laguna considerada una reserva natural en Ponce, Puerto Rico.

El estudio fue realizado con un muestreo simple; las muestras se analizaron mediante un inductor de plasma acoplado por emisión de espectroscopia óptica (ICP-OES 3300 XL).

El ICP-OES se utilizó para determinar los metales y algunos elementos no metálicos en solución. Los resultados revelaron presencia de arsénico (As), hierro (Fe), manganeso (Mn), níquel (Ni), cobre (Cu), calcio (Ca), magnesio (Mg), vanadio (V), bario (Ba), sodio (Na), plomo (Pb) y aluminio (Al).

aproximadamente 2 (INECC-CCA, 2010). En el laboratorio, las muestras se almacenaron a una temperatura de 4° C, hasta ser preparadas para el procedimiento analítico.

METODOLOGÍA

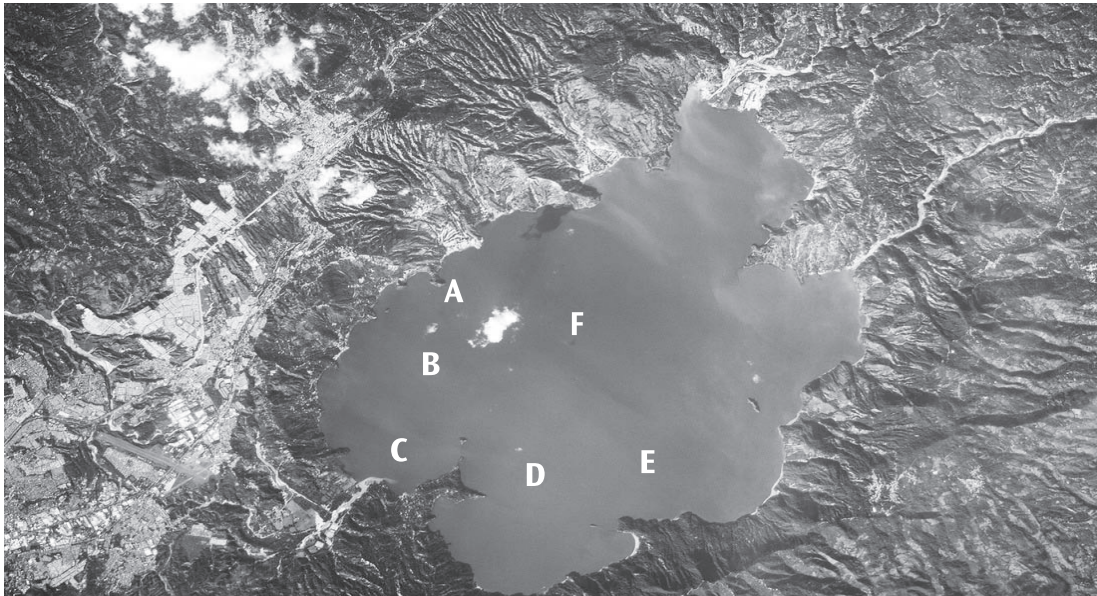


Figura 1: Puntos de muestreo del lago Ilopango, El Salvador

Localización de las muestras

La colección de las muestras de elementos contaminantes se llevó a cabo con un muestreo simple en seis puntos del lago de Ilopango, que fueron identificados como A, B, C, D, E y F. El criterio de inclusión fue la proximidad a la tubería de extracción de agua de la ANDA (punto C).

Recolección de muestras

Las muestras fueron recolectadas durante la mañana, a ocho metros de profundidad, en los puntos A, B, C, D, E, F y G, siguiendo una cadena de custodia. La profundidad debía coincidir con la ubicación de la tubería de extracción de ANDA. Las muestras se recolectaron con un muestreador Van Dorn y para su análisis se colectaron en botellas de polietileno preservadas con ácido nítrico (HNO_3) a un pH de

Procedimiento analítico

Las muestras se analizaron mediante un inductor de plasma acoplado por emisión de espectroscopia óptica (ICP-OES 3300 XL) para determinar metales y algunos elementos no metálicos en solución. Al analizar las muestras, pasaron por un proceso de digestión «en el cual un precipitado es calentado en la disolución a partir de la cual se formó y se mantiene en contacto con la disolución» (Skoog, West, Holler & Crouch, 2014). El procedimiento analítico se desarrolló con el método 200.7 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2001).

El instrumento se calibró con un blanco de calibración compuesto de HCl y HNO_3 . Los elementos analizados de las muestras extraídas fueron: As, Be, Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Se, Tl, Zn, Al, V, Ba, Na, Pb, Si y Ag. Por ello, se uti-

lizaron dos estándares multielementales y se realizó una curva de calibración de tres puntos mediante la preparación de tres concentraciones a 0, 3 y 5 ppm de cada elemento a analizar.

RESULTADOS

Los hallazgos de esta investigación se basan en el análisis de seis puntos de muestreo en el lago Ilopango de El Salvador. Por una parte, para determinar la presencia y concentración

de elementos contaminantes, como parte de monitoreo de agua para propósitos de control de calidad, se realizó un análisis de concentración para cada punto de muestreo del lago.

La **Tabla 1** presenta las concentraciones de los elementos detectados en cada punto de muestreo. El análisis de los elementos contaminantes mostró que las concentraciones exceden los parámetros regulatorios de la EPA (2009).

Tabla 1

Análisis de elementos a ocho metros en los distintos puntos de muestreo

Elemento	A* (concentración mg/L)	B* (concentración mg/L)	C* (concentración mg/L)	D* (concentración mg/L)	E* (concentración mg/L)	F* (concentración mg/L)
As	1.0	2.2	6.7	9.7	1.7	3.0
Be	0.003	.007	ND	.009	.018	.012
Cd	2.10	1.88	2.77	1.95	1.36	2.96
Co	1.96	2.34	2.21	2.01	1.60	1.42
Cr	55.4	54.4	57.7	51.8	53.6	52.4
Fe	0.696	0.464	0.545	1.15	1.51	1.27
Mn	1.42	1.01	1.03	1.04	1.29	.837
Ni	8.50	7.04	6.98	7.65	7.48	7.90
Pb	1.45	0.552	1.10	1.01	0.448	.799
Se	6.95	4.72	4.70	2.81	6.05	6.66
Tl	16.0	18.4	17.8	22.7	34.4	19.0
Zn	9.00	9.20	9.15	12.9	14.5	14.0
Al	4.61	2.98	1.72	3.28	6.62	3.68
Ba	8.428	8.461	8.390	8.495	8.540	8.555
Ag	5.81	7.58	4.55	7.88	5.87	5.92
V	0.335	0.177	0.392	0.043	0.176	0.300
Si	839.0	908.0	849.0	1440.0	1840.0	1750.0
Na	1.6	3.1	4.1	7.1	6.3	7.1

Fuente: Elaboración propia.

ND = No detectable

*Los puntos de muestro se encuentran referidos de acuerdo con el mapa mostrado en la **Figura 1**.

En la **Tabla 2** están las concentraciones de algunos minerales contaminantes encontradas en el punto C (el más cercano a la tubería de extracción de ANDA para agua potable).

Tabla 2

Análisis de parámetros físico-químicos a ocho metros de profundidad en los distintos puntos de muestreo

Elemento	Punto C (concentración mg/L)	Límite permitido por la EPA (mg/L)
Arsénico (As)	6.7	0.010
Cadmio (Cd)	2.77	0.005
Hierro (Fe)	0.545	0.3
Plomo (Pb)	1.10	0.015
Selenio (Se)	4.70	0.05
Talio (Tl)	17.8	0.002
Zinc (Zn)	9.15	5.0
Bario (Ba)	8.390	2.0
Plata (Ag)	4.55	0.10

Fuente: Environmental Protection Agency. (2009). National Primary Drinking Water Regulations.

Por otra parte, en la investigación se analizaron parámetros físico-químicos de sólidos totales disueltos (TDS, por sus siglas en inglés), temperatura, porcentaje de oxígeno disuelto, pH y turbidez para describir las condiciones del lago Ilopango al momento del análisis de elementos contaminantes. Los resultados del análisis físico-químico se encuentran en la **Tabla 3**.

Tabla 3

Análisis de parámetros físico-químicos a ocho metros de profundidad en los distintos puntos de muestreo

Parámetro	Punto A*	Punto B*	Punto C*	Punto D*	Punto E*	Punto F*
TDS (ppm)	615	670	685	637	630	675
Temperatura (°C)	28.02	27.97	28.01	28.05	28.07	27.98
OD (%)	63.7%	161%	114.3%	76.8%	71.9%	70%
pH	8.75	8.72	8.70	8.71	8.70	8.67
Turbidez (FNU)	0.5	0.7	0.8	0.9	0.5	0.7

Fuente: elaboración propia.

*Los puntos de muestro se encuentran referidos de acuerdo con el mapa mostrado en la Figura 1.

Discusión de resultados

En el análisis de parámetros físico-químicos se analizaron los TDS, la temperatura, el por ciento de oxígeno disuelto, el pH y la turbidez. De acuerdo con Roldán y Ramírez (2008), los lagos neotropicales deben tener un valor de TDS entre 10 y 200 ppm. El lago Ilopango contiene un exceso de TDS con un promedio en los seis puntos de muestreo de 652 ppm. De acuerdo con la EPA, el agua potable no debe sobrepasar 500 ppm si es para el consumo humano.

En análisis de contaminantes se encontraron distintos elementos. Por un lado, el plomo y el cadmio, como elementos tóxicos, fueron identificados en todos los puntos de muestreo (**Tabla 1**). De acuerdo con la EPA (2009), la concentración permitida de Cd es 0.005 y la de plomo es de 0.015 mg/L. Queda demostrado en investigaciones como la de Iannacone *et al.* (2007) en un lago en Perú, la de Abubakar, Aliyu Ja'afar *et al.* (2015) en un río en Nigeria, y la de Colón y Sotomayor (2016) en una laguna de Puerto Rico que el plomo y el cadmio continúan con niveles muy altos en los cuerpos de agua. Por otro lado, según la EPA (2009), el plomo provoca problemas físicos y mentales en niños; sin embargo, en adultos genera problemas en los riñones y alta presión. Mientras, el cadmio perjudica los riñones (EPA, 2009).

Las concentraciones de arsénico encontradas en los puntos de muestreo superan los valores establecidos por la EPA (2009), que es de 0.010 mg/L. La contaminación de arsénico en agua potable y en las aguas subterráneas utilizadas para el riego conduce a la contaminación de la cadena alimentaria y presenta serios riesgos de salud a las personas de todo el mundo (Tripathi *et al.* 2012). El arsénico y sus compuestos se introducen al organismo principalmente por ingestión, en donde el sistema gastrointestinal absorbe en promedio el 80% del arsénico; esta cantidad es variable según algunas características del compuesto y del individuo (Prieto y Báez, 2011). No obstante, en el estudio de López *et al.* (2009) se encontró que las concentraciones de arsénico en el agua fueron de 0.29 a 0.78 mg/L (0.53 mg/L en promedio). Estos valores fueron menores a los encontrados en esta investigación (2016), donde el promedio en los seis puntos de muestreo fue de 4.05 mg/L y el punto C obtuvo 6.7 mg/L. Este último dato sobrepasa los valores encontrados en algunos cuerpos de agua en El Salvador por Bundschuh, Pérez & Litter (2008).

El selenio y el talio causan problemas circulatorios, de riñones y de hígado (EPA, 2009). Según la misma agencia, estos elementos contaminantes pueden estar presentes en el lago Ilopango debido a descargas de equipos electrónicos y presencia de derivados del petróleo.

CONCLUSIONES

Los resultados previos presentados muestran que la contaminación de algunos elementos contaminantes se ha convertido en un problema en el lago Ilopango de El Salvador. Muchas personas se exponen diariamente a estos contaminantes a través del agua para beber, los sedimentos contaminados, así como alimentos por bioacumulación. La bioacumulación de metales en organismos queda comprobada en investigaciones como la de Iannacone *et al.* (2007) y Monikh *et al.* (2015).

Según López *et al.* (2009), las fuentes de arsénico en El Salvador pueden ser naturales, tales como la lixiviación de productos volcánicos ricos en arsénico y la descarga al ambiente de fluidos hidrotermales, pero no hay duda de la alta concentración del mismo. También es posible que existan fuentes antrópicas debido al cultivo de algodón y otros productos que usan compuestos de arsénico, como pesticidas o como aditivo en granjas de pollo, pero de lo que no cabe duda es de que la concentración ha ido en aumento de 2009 a 2016. Se necesita promover la investigación en El Salvador para identificar los posibles efectos de estos elementos tóxicos en humanos, animales y plantas. Sin duda, la presencia de arsénico afecta la fauna y flora del lago Ilopango. Finalmente, la presencia de plomo, cadmio, selenio, talio y los otros elementos contaminantes encontrados en el lago Ilopango podrían estar afectando la fauna que ingiere agua de esta fuente y la flora que la habita.

RECOMENDACIONES

Abrir el acceso a la información pública que contribuya a la identificación de elementos contaminantes en los bienes y servicios del Estado.

Realizar en el lago Ilopango otros análisis de elementos contaminantes obtenidos para corroborar las altas concentraciones en otros lugares del lago.

Determinar la calidad de agua que llega a los hogares una vez que el agua del lago Ilopango pase por el proceso de depuración en la planta de tratamiento.

Investigar cómo el arsénico, el plomo, el cadmio y el talio afectan la flora y la fauna del lago Ilopango, dado que se ha comprobado que la contaminación de las aguas con estos elementos puede conducir a la contaminación de la cadena alimentaria y plantear serios riesgos a la salud de las personas (Tripathi, *et al.* 2012).

FUENTES CONSULTADAS

- ABUBAKAR, A. J.; Yusuf, S. & Shehu, K., (2015). «Heavy Metals Pollution on Surface Water Sources in Kaduna Metropolis, Nigeria.» *Science World Journal*, 10 (2), 1-5.
- ARÉVALO PÉREZ, C.; y Castañeda Pineda, K. (2012). *Investigación de la presencia de litio por fotometría de llama en muestras de agua provenientes de la zona noreste de la isla Chachagaste del lago Ilopango*. Tesis de Licenciatura en Química y Farmacia. Universidad de El Salvador.
- BUNDSCHUH, J.; Pérez Carrera, A., y Litter, M. I. (2008). *Distribución del arsénico en las regiones ibérica e iberoamericana*. Argentina: CYTED.
- COLÓN, A. y Sotomayor, J. (2016). «Determinación de la presencia y concentración de metales pesados en la Reserva Natural Punta Cucharas de Ponce, Puerto Rico». *Scientific International Journal*, 13 (02), 17-31.
- Environmental Protection Agency. (2001). *Method 200.7 Trace elements in water, solids, and biosolids by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry*. Recuperado de http://www.accustandard.com/assets/200_7.pdf
- (2009). *National Primary Drinking Water Regulations*. Recuperado de https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/npwdr_complete_table.pdf
- ESCALANTE ARÉVALO, S.; y Rivas García, E. (2014). *Determinación de la presencia de cromo hexavalente en muestras de agua del lago Ilopango por el método de absorción atómica*. Tesis de Licenciatura en Química y Farmacia. Universidad de El Salvador.
- IANNAcone, J. y Salazar, N. (2007). *Efecto toxicológico de muestras de agua del lago Junín, Perú, sobre Chironomus calligraphus (Diptera: Chironomidae)*. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.
- INECC-CCA (2010). *Manual de métodos de muestreo y preservación de muestras de las sustancias prioritarias para las matrices del PRONAME: México*, p. 55. Recuperado de: <http://www.lexjuris.com/lexlex/Leyes2008/lexl2008227.htm>
- LÓPEZ, D. L., Ransom, L.; Monterrosa, J.; Soriano, T.; Barahona, F.; Olmos, R.; Bundschuh, J. (2009). «Volcanic pollution of arsenic and boron at Ilopango Lake, El Salvador». *Natural arsenic in groundwaters of Latin America*. A.A. Balkema/Taylor and Francis, pp. 129-143.
- MONIKH F.A., MARYAMABADI A., SAVARI A. & GHANEMI K., (2015). «Heavy metals' concentration in sediment, shrimp and two fish species from the northwest Persian Gulf.» *Toxicology & Industrial Health*, 31 (6), 554-565.
- PRIETO, F. y Báez, A. (2011). «Concentraciones de arsénico en agua potable y sus implicaciones de bioacumulación y teratogénesis en el pez cebrá (*Danio rerio*)». *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2(1), 37-50.
- ROLDÁN PÉREZ, G. y Ramírez Restrepo, J. H. (2008). *Fundamentos de Limnología neotropical* (2.ª edición). Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- SKOOG, D. A., West, D.M., Holler, F. J., Crouch, S.R. (2014). *Fundamentals of Analytical Chemistry* (9th edition). Estados Unidos: Saunders Colleges Publishing.
- TRIPATHI, R. D.; Tripathi, P.; Dwivedi, S.; Dubey, S.; Chatterjee, S.; Chakrabarty, D.; & Trivedi, P. K. (2012). «Arsenomics: omics of arsenic metabolism in plants.» *Frontiers In Physiology*, 31-14. doi:10.3389/fphys.2012.00275
- VIDELA FUNES, A. (2015). «Facultad de Ciencias Naturales y ANDA formalizan alianza para estudio del lago de Ilopango». *El Universitario*. Recuperado de http://www.eluniversitario.ues.edu.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=4126:-facultad-de-ciencias-naturales-y-matematica-y-anda-formalizan-alianza-para-estudio-del-lago-de-ilo-p&catid=41:acontecer&Itemid=30