



(c) Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, 2019.

Análisis diacrónico de la contaminación por cadmio en la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz, México

Socorro Menchaca Dávila^a – Luis Manuel Ríos Fuentes^b

RESUMEN: En la investigación se analiza la variación diacrónica de la contaminación de agua por cadmio, en tres presas que son fuentes de abastecimiento de agua para el Municipio de Xalapa, así como de la población que vive en las zonas aledañas ubicadas en la microcuenca del río Pixquiac. La investigación incluye las posibles causas antrópicas que contribuyen a la afectación a la calidad de agua, así como la importancia de medir las características del recurso hídrico, y cumplir con el marco regulatorio por parte del gobierno municipal encargado del abastecimiento del agua, para cuidar la salud humana y establecer mecanismos que permitan preservar la ecohidrología que brinda importantes beneficios a la sociedad.

Palabras clave: Agua; contaminación; variación; cadmio; ecohidrología.

^a Responsable del Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz del Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana. Contacto: socorro.menchaca@gmail.com

^b Colaborador del Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz del Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana. Contacto: luis.rf94@gmail.com

ABSTRACT: In the research is analyzed the potential diachronic variation of the water pollution by cadmium in three dams that are sources of water supply for the county of Xalapa, as well as of the population that lives in the surrounding areas located in the microbasin of the Pixquiac River. The investigation includes the possible anthropic causes that deteriorate the water quality, as well as the importance to measure the characteristics of the water resource, and to fulfill the regulatory frame on the part of the municipal government in charge of the water supply, to take care of the health human and establish mechanisms that facilitate the preservation of ecohydrology that provides important benefits to society

Keywords: Water; Pollution; Cadmium; Variation; Ecohydrology.

Introducción

El agua ha sido considerada como uno de los recursos naturales más importantes debido a que es indispensable para la vida del ser humano, los ecosistemas y la producción de bienes y servicios; sin embargo, la problemática sobre la disponibilidad del recurso natural está siendo identificada como de carácter urgente para su solución (Vörösmarty, et al., 2010).

Existen evidencias que señalan que el agua está disminuyendo en cantidad y calidad, según el Instituto de Recursos Mundiales (2015), México se encuentra en el sitio 34 de 161 naciones que han sido estudiadas y evaluadas respecto a la escasez de agua. Es necesario señalar que, si no se atienden los múltiples aspectos relacionados con la contaminación del recurso hídrico, seguirá disminuyendo en cantidad para uso humano, escenario que no es deseable por lo que representa para la sociedad y su vulnerabilidad. En adición a lo anterior, se tienen frecuentes fases de sequías, el aumento de la deforestación y la pérdida de las funciones de los ecosistemas, el crecimiento demográfico, el uso no racional del recurso, entre otras circunstancias. De manera conjunta ambas circunstancias pueden sustentar condiciones favorables para generar una crisis en el contexto de la disponibilidad del recurso hídrico, lo cual podría significar una grave presión tanto en los ámbitos social y económico de los países y/o regiones del mundo.

Cabe señalar que la microcuenca del río Pixquiac es una fuente importante de agua potable para la ciudad de Xalapa y para localidades de los municipios de Acajete, Tlalnehuayocan, Perote, Las Vigas de Ramírez y Coatepec. Sin embargo, se ha detectado la presencia de cadmio, el cual es potencialmente tóxico y su ingestión tiene efectos acumulativos en el tejido del

hígado y los riñones, así como lesiones en los pulmones, irritación de estómago, y daños renales y sistema óseo (Menchaca, Alvarado, Zapata y Pérez, 2015).

El propósito del presente se centra en analizar la contaminación de agua por el metal pesado de cadmio, en las presas de Medio Pixquiac, Socoyolapan y Cinco Palos, ubicadas en la microcuenca de interés durante los años de 2005 a 2016.

En el Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, OABCC (Agua, Bosques, Cuencas y Costas), se han realizado distintas investigaciones, cuyos resultados indican que la disponibilidad del agua de la microcuenca del río Pixquiac está en riesgo debido a las actividades antrópicas de los usuarios del agua (agrícola, pecuario, acuacultura, doméstico, industria y servicios).

El punto inicial de las investigaciones fue la valoración de las actividades antrópicas que impactan y afectan los servicios ambientales de cuencas hidrológicas y bosques, encontrando que la mayoría de estos son adversos a los ecosistemas en intensidad, temporalidad, espacialidad y reversibilidad (Menchaca y Alvarado, 2011). A partir de lo anterior se diseñó y aplicó una metodología para medir el índice de escasez del agua, en donde el componente de disponibilidad del agua, y en lo particular la afectación a calidad del agua, fue significativa (Menchaca y Pérez, 2014).

Debido a los resultados de dichas investigaciones, se estableció que la disponibilidad de agua, en lo específico su calidad, era un factor de atención; por ello, se buscó información sobre la calidad de agua de las tres presas que abastecen a Xalapa (Menchaca et al., 2015), encontrando que el agua estaba contaminada por distintas características y/o propiedades químicas como fenoles, cianuros y detergentes; metales pesados como cadmio, plomo y arsénico; y microbiológicas como coliformes fecales y totales. Posteriormente, se estableció un proceso de investigación dirigido a identificar las actividades antrópicas que podrían estar contribuyendo a la contaminación del agua por cadmio (Menchaca, Ríos y De Medina, 2018).

Por lo anterior, se establece que los caudales de los cuerpos de agua naturales de la microcuenca de interés, que son afluentes de las presas Medio Pixquiac, Socoyolapan y Cinco Palos, no son protegidos de las actividades antrópicas. Al respecto, en el contexto mundial, la Organización de las Naciones Unidas plantea que la problemática del agua debe de ser tratada como prioridad en todos los países del mundo, sobre todo el agua para consumo humano, la

que debe de tener como principal atributo el no estar contaminada, es decir, brindar a la sociedad, por derecho propio, agua segura para consumo humano (ONU, 2015).

En cuanto al marco regulatorio en el contexto de la calidad de agua, se establece que para asegurar que esta cumpla con los requerimientos para el consumo humano, y así cuidar la salud, están los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, que determinan las características que deben medirse, para establecer si un cuerpo natural es apto como fuente de abastecimiento de agua potable; y cuando no se cumple con los parámetros correspondientes se establece que se deberán ajustar mediante tratamientos correspondientes (DOF, 1989).

Respecto a lo anterior, se señala que el marco regulatorio, en relación con la protección de los cuerpos naturales de agua, no está dirigido a conservación de los ecosistemas hídricos y de sus funciones expresadas en servicios ambientales, esto significa que no hay una regulación sobre las múltiples actividades antrópicas de los distintos usuarios del agua que impactan y afectan a los ecosistemas; tampoco existen políticas o estrategias gubernamentales que aseguren que los cuerpos de agua sean o deban ser protegidos, ya que todos contaminamos en menor o mayor medida.

Son múltiples las actividades de los usuarios del agua que impactan y afectan a los ecosistemas y los servicios ambientales, como las realizadas por los sectores agrícola, pecuario, acuacultura, doméstico, industrial, minero, etc. Respecto a lo anterior, se tiene por ejemplo el uso de agroquímicos como fertilizantes, herbicidas, insecticidas, fungicidas, entre otros, los que pueden usarse al lado de un cuerpo de agua natural que abastece a la comunidad sin que exista ninguna restricción o regulación, lo que puede contribuir a la contaminación del agua por cadmio, entre otros; y tampoco se establecen las normas básicas de manejo de las heces fecales del ganado o de la disposición de los residuos sólidos en las zonas rurales, como pueden ser las pilas, lo que también contamina con el mismo metal pesado (Menchaca et al., 2018).

En lo específico, sobre la contaminación del agua por cadmio, se ha encontrado en el OABCC los siguientes indicios:

El uso de fertilizantes, insecticidas, herbicidas y fungicidas son actividades agrícolas que pueden estar contaminando con cadmio, estas se aplican de manera permanente a los suelos aumentando las concentraciones de cadmio en el agua (Menchaca et al., 2018).

En lo relativo a las actividades pecuarias, las excretas ganaderas aportan a la contaminación por cadmio directamente a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda en las granjas; e indirectamente por escorrentías y flujos superficiales desde zonas de pastoreo y tierras de cultivo (Menchaca et al., 2018). Finalmente, respecto al uso de baterías, la incineración de residuos y el uso de combustibles fósiles son las actividades de los usuarios del agua del sector doméstico que pueden estar contribuyendo a la contaminación por cadmio (Rios, 2018).

Lo anterior remite a la necesidad de medir también la resiliencia de la ecohidrología en las regiones de una cuenca y/o microcuenca, territorios donde se ubican los ríos, manantiales, lagos, lagunas, etc., de agua dulce que son las principales fuentes de abastecimiento para consumo humano.

La problemática tiene como contexto el análisis y descripción de la variación y comportamiento del cadmio, en las presas de Medio Pixquiac, Socoyolapan y Cinco Palos de 2005 a 2016, mismas que abastecen de agua al municipio de Xalapa, y a los habitantes de las zonas aledañas a los cuerpos de agua naturales, de los municipios de Tlalehuayocan y Coatepec, Veracruz.

Metodología

A. Zona de estudio

La microcuenca del río Pixquiac se ubica aproximadamente entre las coordenadas 19°33'35" y 19°26'05" de latitud Norte y 96°54'39" y 97°08'45" de longitud Oeste dentro del estado de Veracruz, México. Nace en la vertiente nororiental del sistema montañoso volcánico del Cofre de Perote, a una altura de 3,760 m.s.n.m. y se une a los 1,030 m.s.n.m con el río Sordo. Los principales ríos de la microcuenca son: Pixquiac, Huichila, Agüita Fría, Socoyolapan y Actopan, sumando en total alrededor de 213 ríos, 15 perennes y 188 intermitentes, que alimentan al río Pixquiac, colector principal, durante todo su curso de escurrimiento (Figura 1).

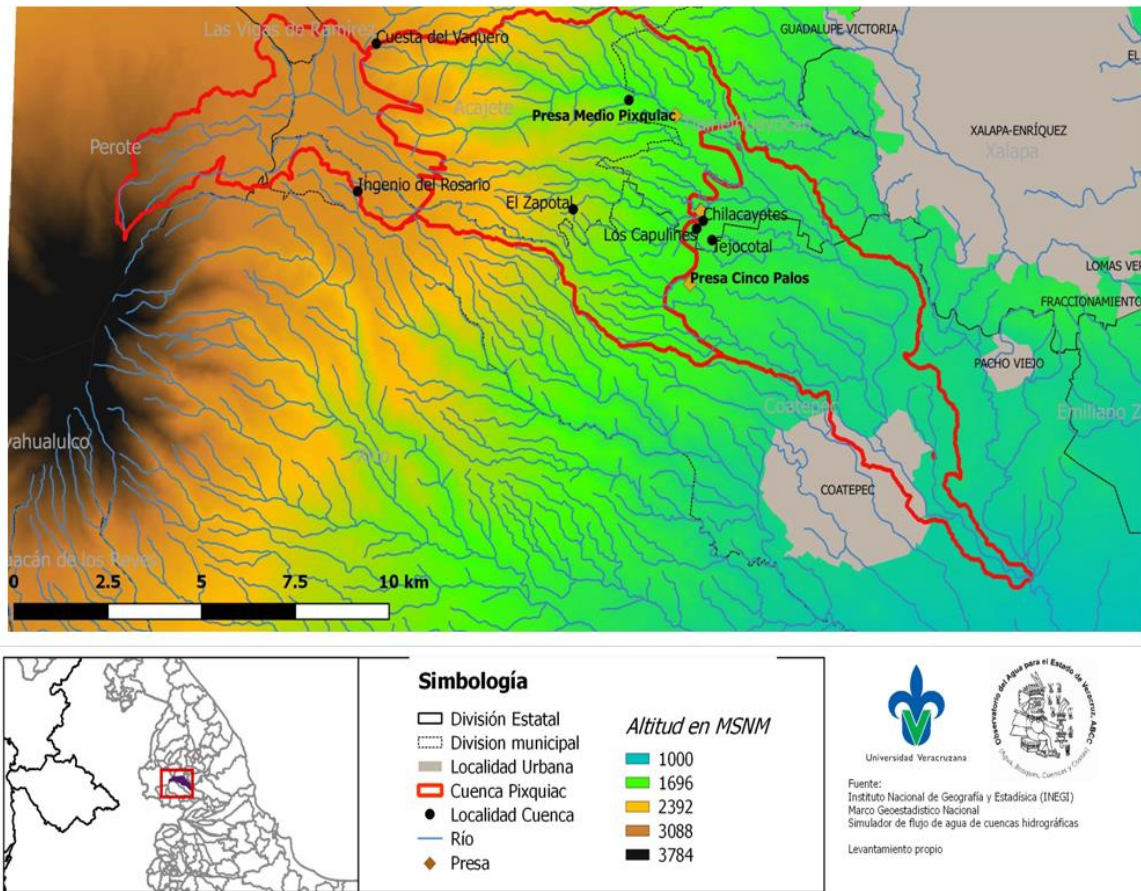


Figura 1. Mapa de la microcuenca del río Pixquiatic. Fuente: Menchaca y Ríos, 2017; OABCC

La microcuenca cuenta con una superficie de 10,600.64 hectáreas, ocupada por 64 localidades, todas de carácter rural, distribuidas a través del territorio de los municipios de Perote, Las Vigas, Coatepec, Acajete y San Andrés Tlaxnelhuayocan, cuya población total asciende a 9,653 habitantes distribuidos en 2,414 viviendas (Menchaca et al., 2015).

De acuerdo con los criterios que son: la cercanía en que se realizan las actividades antrópicas de los usuarios del agua agrícola, así como del escurrimiento de los cuerpos de agua a las presas Medio Pixquiatic, Socoyolapan y Cinco Palos, se establecen las localidades que pueden estar aportando a la contaminación por cadmio en el agua, mismas que se presentan a continuación:

En la Presa Medio Pixquiatic se encuentra la localidad Cuesta del Vaquero del Municipio de Acajete, ubicada en la cuenca alta de la zona de estudio; y Vega del Pixquiatic, ubicada en la cuenca media.

En la presa Socoyolapan se localizan Los Capulines y Los Chilacayotes del municipio de San Andrés Tlalnehuayocan, ambas ubicadas en la cuenca baja. En la presa Cinco Palos se ubica la localidad Ingenio del Rosario del municipio de Coatepec, ubicada en la cuenca alta; El Zapotal perteneciente a Acajete, ubicada en la cuenca media; y el Tejocotal del municipio de San Andrés Tlalnehuayocan, ubicado en la cuenca baja.

B. Procedimiento

Se revisó literatura científica para identificar la problemática del agua respecto a la contaminación por cadmio y las actividades antrópicas relacionadas con el metal pesado. Por otra parte, se analizó la base de datos del Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, OABCC (Agua, Bosques, Cuencas y Costas), en relación al comportamiento y/o la variación del cadmio en las presas Socoyolapan, Medio Pixquiac y Cinco Palos, ubicadas en la microcuenca del río Pixquiac, que abarca los años de 2005 a 2016, la que incluye las características y/o propiedades del recurso natural: pH, turbiedad, color, olor, conductividad, sólidos disueltos totales, acidez total, alcalinidad total, cloruros, dureza total, nitratos, nitritos, fósforo total, sulfatos, flúor, detergentes, fenoles, cadmio, plomo, cianuro, cobre, cromo, arsénico, manganeso, zinc, fierro, coliformes totales y coliformes fecales. Cabe señalar que dicha base de datos se elaboró a partir de los reportes trimestrales del análisis de la calidad del agua que realizó la Comisión Municipal del Agua y Saneamiento (CMAS) Xalapa.

A partir de la base de datos del OABCC, se diseñó y desarrolló específicamente la de cadmio. Con dicha información se realizó un análisis estadístico descriptivo en el que se calculó el promedio por año para cada una de las presas ubicadas en la microcuenca del río Pixquiac.

A partir de lo anterior se realizó una comparación entre las concentraciones de cadmio respecto al límite máximo permisible de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (NOM 27) "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"; y el valor guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Análisis de la variación de las concentraciones de cadmio en la microcuenca del río Pixquiac de 2005 a 2016

En la gráfica que se presenta a continuación, se muestra en el eje vertical las concentraciones de cadmio (mg/L) y en el horizontal los años de su registro. Por otra parte, las concentraciones

del metal pesado de interés en el presente estudio, que se centra en las presas Cinco Palos, Socoyolapan y Medio Pixquiac son representadas por los símbolos de rombo, cuadrado y triángulo respectivamente. Se señala, que la línea verde indica el Límite Máximo Permisible (LMP) de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización" que determina el valor de 0.005 mg/L; y que la línea amarilla establece el valor guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) con un 0.003 mg/L.

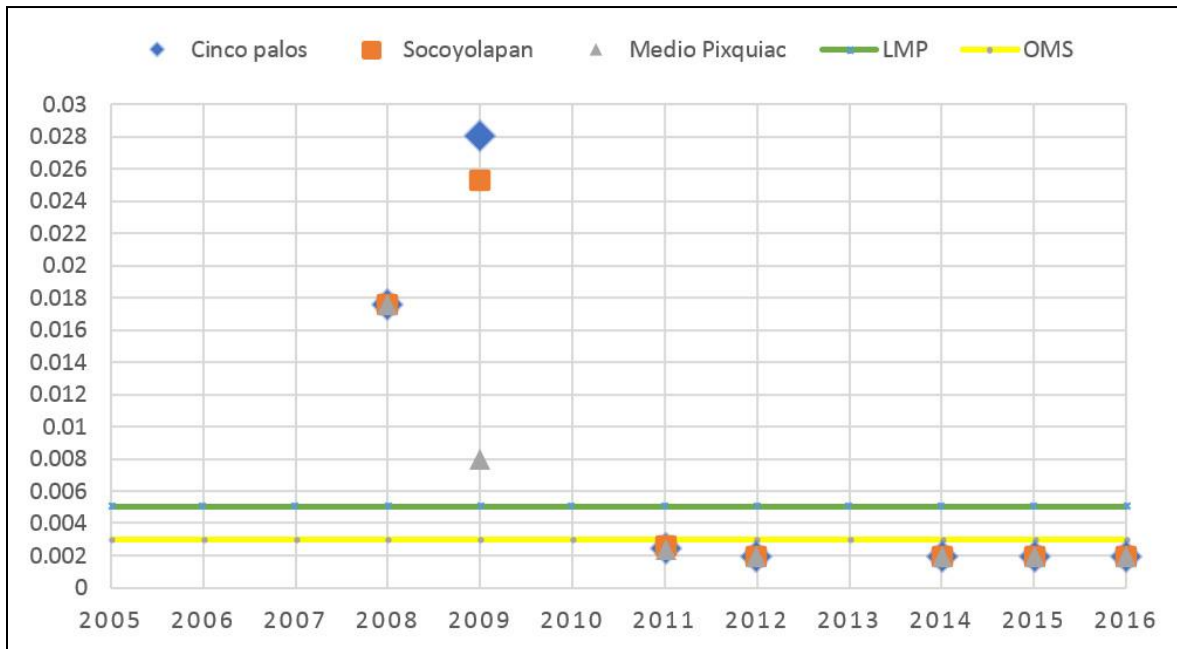


Figura 2. Concentraciones de cadmio en la microcuenca del río Pixquiac del trimestre 2005-2016.

En los resultados se muestran cuatro categorías sobre cómo fluctúa el cadmio en el periodo de 2010 al 2016:

1. En los registros correspondientes al cadmio tanto de la CMAS de Xalapa, como en las bases de datos elaboradas por el Observatorio del Agua para el Estado de Veracruz, OABCC (Agua, Bosques, Cuencas y Costas), se reporta al metal pesado como No Detectado (N/D) o No Realizado (N/R) en los años de 2005, 2006, 2007. Lo anterior significa que en 8 de 12 trimestres no se toma muestras de la calidad del agua en las tres presas de abastecimiento a Xalapa; en año de 2010 se registra como no detectado (N/D) en los cuatro trimestres; y en el 2013 se reporta como no realizado (N/R) en todo el año. Respecto a lo anterior, se señala que de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-1998, de Vigilancia y Evaluación de Control de calidad del Agua para Uso y Consumo de Agua, Distribuida por Sistemas de

Abastecimiento Público, se deben realizar de manera trimestral los análisis sobre las características del recurso hídrico, por parte de los organismos operadores de los sistemas de abastecimiento del agua. Por lo anterior, dicho requerimiento obligatorio no se cumple en el periodo de estudio, y si no se registra la calidad del agua no se puede dar el tratamiento adecuado para el abastecimiento posterior para consumo humano.

2. En los años de 2008 y 2009 las concentraciones de cadmio están arriba de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, así como en los Valores Guía de la OMS, ya que en el primero se presenta un valor de 0.0175 mg/L, en las tres presas de la microcuenca; y en el segundo se muestra un significativo incremento en las concentraciones del contaminante en las presas de Cinco Palos (0.028 mg/L) y Socoyolapan (0.025 mg/L); mientras que en la presa Medio Pixquiac, disminuye a un valor de 0.008 mg/l.

Las actividades antrópicas que principalmente pueden estar contribuyendo a la contaminación de agua son las efectuadas por los usuarios del sector agrícola debido a los cultivos de maíz, frijol y papa. Cabe señalar que la siembra de papa se ha incrementado significativamente en extensión, desde el 2010, en los municipios de Tlalnahuayocan y Coatepec, cultivos que son aledaños a las tres presas en donde se tienen los referentes de la contaminación de agua por cadmio debido al uso de fertilizantes, insecticidas, herbicidas y fungicidas (Menchaca et al., 2018). En adición a lo anterior, también interviene la generación de estiércol en el sector de la ganadería; y el uso de baterías, incineración de residuos y uso de combustibles fósiles en el sector doméstico (Menchaca et al., 2018), sin que exista un marco regulatorio y/o políticas dirigidas a la protección del recurso hídrico de los cuerpos naturales.

3. En el 2011, los valores de las características del agua en las presas de Medio Pixquiac y de Cinco Palos es de 0.0025 mg/l y en la de Socoyolapan es de 0.0026, datos que están al límite de los Valores Guía de la OMS, y debajo de los LMP de la NOM-127-SSA1-1994. Al respecto, se señala, no se registran cambios en las actividades agrícolas, que son las principales fuentes de contaminación de agua por cadmio.

4. Por último, en los años 2012, 2014, 2015 y 2016 las tres presas que se incluyen en la investigación tienen el mismo valor de 0.002, mismo que está por debajo tanto de la NOM 127 como de los Valores Guía de la OMS. Respecto a lo anterior, se señala que dicho dato registrado por el organismo operador del agua (CMAS XALAPA) no es comprensible ya que se han intensificado las actividades antrópicas de los usuarios del agua; por ejemplo, antes del 2009, los cultivos generalmente eran de autoconsumo familiar y a partir de 2010 se han expandido

los cultivos de frijol, maíz y principalmente de papa. En adición a lo anterior, se establece que, en el año 2012, se extendió de manera significativa la siembra de papa en la zona de estudio. Cabe señalar que dichos cultivos abarcan aproximadamente 49 hectáreas aledañas a las presas de interés, y se usan de manera permanente agroquímicos que contribuyen a la contaminación del agua por cadmio, de acuerdo con la siguiente información establecida por Menchaca, Ríos y Medina (2018):

Herbicidas: Durmina 40, Rudo, Sencor y Surfacid, estos pueden estar relacionados con la contaminación de cadmio (Cd), ya que en su composición contiene Cd en cantidades de 32.7 µg.g⁻¹, (Metrohm, 2017). La cantidad de herbicidas que se utiliza es de aproximadamente 22 L del concentrado, con una frecuencia de aplicación anual.

Insecticidas: Interfuran 350 y Monocrotofos, si bien no se tiene las cantidades de concentración de cadmio de estos compuestos, se ha confirmado que son fuentes antrópicas del metal pesado (Rodríguez et al., 2008). La medida de insecticidas que se usa es de aproximadamente 21 L de concentrado, con una frecuencia de aplicación anual.

Fungicidas: Interguzan, Blanco 750, Dupont Curzate M-8, FLWAZ, Fungoxyl, Mancosol 80, Pulsor, Rolling 720; el contenido de cadmio en la composición es de 1.535 mg Cd kg⁻¹ (Martí et al., 2009); la cantidad de fungicidas que se aplican es de aproximadamente 10 L de concentrado, con una frecuencia de aplicación anual.

Respecto a lo anterior, se señala que el proceso de contaminación en este caso, es de carácter difuso, ya que los compuestos químicos que contienen cadmio, se albergan en la tierra y se trasladan por medio del escurrimiento hacia los cuerpos naturales de agua, los afluentes de las tres presas o directamente; también se señala la importancia que tiene medir las características del agua, como se establece en el marco regulatorio, y difundir a la población dicha información, es decir, crear una nueva cultura del agua que proteja tanto a los ecosistemas y a sus funciones, expresados en los servicios ambientales y por ende en la salud humana.

Conclusiones y recomendaciones

No se tienen elementos que puedan explicar y/o justificar las variaciones con relación a la ausencia de cadmio en el recurso hídrico, cuando ha estado arriba del parámetro establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, en las tres presas incluidas en el estudio,

ya que no han habido cambios en las actividades antrópicas de los usuarios del agua, principalmente del sector agrícola en la región, por lo que es necesario realizar estudios que profundicen en la presencia de cadmio en las tres presas que abastecen del recurso hídrico a Xalapa, y a los habitantes de la microcuenca del río Pixquiac.

La medición sobre las características de las fuentes naturales de agua, debe realizarse en estricto apego a lo establecido en el marco regulatorio de los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, la NOM-127-SSA1-1994 y la NOM-179-SSA1-1998, para evitar el riesgo a la población del municipio de Xalapa, así como la que utiliza el recurso de las fuentes naturales, para uso humano en los municipios de Tlalnelhuayocan y Coatepec, aledañas a las tres presas de interés, ya que la salud humana puede ser afectada.

Con relación a lo anterior, las actividades antrópicas se realizan sin que exista una regulación que proteja a los ecosistemas conexos a los cuerpos de agua, representa también un problema ambiental para los servicios ecosistémicos como son la calidad del agua superficial y subterránea, productividad acuática vegetal, así como la conservación de la biodiversidad, entre otros.

Respecto a las recomendaciones, se sugiere que los estudios se realicen de forma permanente, y se diversifiquen los puntos de muestreo, es decir, no únicamente en las tres presas que abastecen de agua a Xalapa. Se deben realizar más estudios sobre los riesgos a los que se expone la población al usar y consumir agua sin un tratamiento previo; además, sobre otros contaminantes ya sean sustancias químicas, metales pesados o microorganismos; y también sobre suelos, ya que son el principal medio por donde se albergan los contaminantes al agua.

Es importante mantener informada a la población respecto a las enfermedades por intoxicación debido al consumo de agua contaminada; y también es fundamental que se regulen las actividades antrópicas, y se estudie e implemente el uso de ecotecnologías, esto con el fin de controlar y mitigar la contaminación del recurso hídrico, para la preservación de los cuerpos de agua naturales que son la principal fuente de abastecimiento para los humanos.

Referencias

- Diario Oficial de la Federación (1989) Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, CE-CCA-001/89. México: Diario Oficial de la Federación.
- Luo, T., Young, R. & Reig, P. (2015). Aqueduct Projected Water Stress Country Rankings. World Resources Institute. Recuperado de: <https://bit.ly/3bivLh4>.
- Martí, L., Filippini, M., Bermejillo, A., Troilo, S., Salcedo, C. & Valdés, A. (2009). Monitoreo de cadmio y plomo en los principales fungicidas cúpricos comercializados en Mendoza, Argentina. Revista de la facultad de ciencias agrarias 41(2). 109-116.
- Menchaca, S. y Alvarado, E. (2011). Efectos antropogénicos provocados por los usuarios del agua de la Microcuenca del río Pixquiac. Rev. Mexicana de C. Agrícolas, 1, 85-86.
- Menchaca, S., Perez, M., (2014). Índice de escasez del agua de la microcuenca del río Pixquiac, Veracruz México, Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana, Reporte Técnico.
- Menchaca, S., Alvarado, E., Zapata, K. y Pérez, M. (2015). Construcción del riesgo por contaminación del agua y el principio de precaución. En Derecho y gestión del agua. México: Ubijus, 239-268.
- Menchaca, S.; Ríos, L.; de Medina, L. (2018). Usuarios del agua y su posible contribución a la contaminación por cadmio en fuentes naturales de la microcuenca del río Pixquiac. UVserva (No.5), 49-58 pp.
- Metrohm (2017). Cadmio y plomo en herbicida. Recuperado de <https://bit.ly/2zgZbye>.
- ONU. (2015). Conferencia Anual 2015 de ONU-Agua en Zaragoza. Agua y Desarrollo Sostenible: De la visión a la acción. Recuperado en noviembre de 2015, recuperado de <https://bit.ly/3er563L>.
- Ríos, L. (2018). Valoración de impactos a la calidad del agua por cadmio y detergentes en la microcuenca del río Pixquiac (Licenciatura). Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- Rodríguez-Serrano, M., Martínez-de la Casa, N., Romero-Puertas, M., del Río, L. y Sandalio, L. (2008). Toxicidad del cadmio en plantas. Ecosistemas, 17(3), 139-146.
- Vörösmarty, C., McIttyre, P., Gessner, M., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S., Sullivan, C., Liermann, C. & Davies, P. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. Nature, 467, 555-561.