

Guanajuato Rumbo al Desarrollo Sustentable, Etapa 2.0: Análisis de la calidad de agua en el cuerpo de agua “Presa La Purísima”

Eduardo Trejo Acosta¹, Karla Odil Macías Cervantes², Aurelio Álvarez Vargas³, Alma Hortensia Serafín Muñoz^{4*}
Universidad de Guanajuato.
*sermuah@ugto.mx

Resumen

La contaminación de los recursos hídricos por metales pesados se ha convertido en uno de los mayores problemas para las sociedades del mundo. En el Estado de Guanajuato, México existen varios cuerpos de agua con altos niveles de metales y metaloides tóxicos. La interacción entre los metales pesados y los diferentes organismos vivos y ecosistemas resulta siempre en afectaciones de carácter toxicológicas para estos últimos, elevando la importancia de la cuantificación de los niveles de metales pesados en los cuerpos de agua, la identificación de las posibles fuentes de contaminación y la posterior toma de acciones de mitigación que lleven los niveles de metales pesados dentro de las normas que rigen estos contaminantes. En el presente trabajo se llevó a cabo el análisis de la calidad de agua durante el 2022 en temporada de secas y de lluvia. En base a la norma mexicana, NOM127SSA, los resultados mostraron parámetros fuera de los límites permisibles. Este trabajo contribuye dentro en el diagnóstico de la salud ambiental de los cuerpos de agua y en perspectivas para el desarrollo e implementación de técnicas sustentables para el tratamiento aguas contaminadas.

Palabras clave: salud ambiental, metales, metaloides, NOM 127 SSA, NOM-001-SEMARNAT-2021, calidad de agua.

Abstract

The contamination of water resources by heavy metals has become one of the major problems for societies around the world. In the State of Guanajuato, Mexico, there are several water bodies with high levels of toxic metals and metalloids. The interaction between heavy metals and the different living organisms and ecosystems always results in toxicological affectations for the latter, raising the importance of quantifying the levels of heavy metals in water bodies, identifying the possible sources of contamination and then taking mitigation actions to bring the levels of heavy metals within the standards that govern these pollutants. In the present work, the analysis of water quality during the 2022 dry and rainy season was carried out. Based on the Mexican standard, NOM127SSA, the results showed parameters outside the permissible limits. This work contributes to the diagnosis of the environmental health of water bodies and to perspectives for the development and implementation of sustainable techniques for the treatment of contaminated water.

Keywords: environmental health, metals, metalloids, NOM 127 SSA, NOM-001-SEMARNAT-2021, water quality.

Introducción

La Presa La Purísima desempeña un importante papel en el abastecimiento y captación de agua en el estado de Guanajuato, así como representa una zona de recarga de acuíferos que a su vez alberga una significativa variedad de especies acuáticas y vegetación. Se ubica en el municipio de Guanajuato a 20 kilómetros de la cabecera municipal, sus coordenadas geográficas son 20°52'22"N - 101°17'43"O. La Purísima tiene una gran importancia en la recarga del acuífero Silao-Romita, de los ríos Guanajuato, Chapín y la Trinidad (Cano Rodríguez et al., 2000). En los alrededores de la presa, se ubican al menos 10 comunidades con alrededor de 500 habitantes en promedio cada una, entre las comunidades más pobladas se encuentra “Cajones”, “Molineros”, “La Haciendita” y “Santiaguillo”. Las actividades económicas que se realizan están enfocadas

principalmente al aprovechamiento de los recursos presentes en la zona, extracción y comercialización de arena, agricultura y cría de ganado de subsistencia, así como la pesca de autoconsumo y venta a baja escala (Cristina & Marco).



Figura 1. Presa La Purísima.

La contaminación por metales pesados en los recursos hídricos representa una enorme problemática para la población de todo el mundo, y por supuesto, para la de nuestro estado. Los metales pesados son considerados como aquellos elementos químicos de alta densidad, es decir, mayor a 4 g/cm^3 , que pueden llegar a ser tóxicos incluso a bajas concentraciones. Las actividades antropogénicas han recurrido al uso desmesurado de metales pesados, lo que hace desencadenado un incremento en las concentraciones presentes en los cuerpos de agua. Los metales no pueden ser degradados ni destruidos dentro del organismo, por lo que suelen incorporarse al organismo, lo que causa, dependiendo de la cantidad y metal, intoxicación, daño en los órganos, modificación del comportamiento y daños neurológicos. Es por esto, que los comités y organismos gubernamentales correspondientes han fijado una norma con el fin de preservar y proteger la calidad del agua nacional. En la tabla 1 se pueden observar las principales afectaciones que provocan algunos parámetros incluidos dentro de la NOM-127-SSA tras entrar en contacto con el organismo humano. Además de los daños que provocan en los seres humanos, causan afectaciones en animales, plantas y suelos, causando un desequilibrio importante en la cadena trófica [5]. La normatividad creada para este fin es la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Esta Norma Oficial Mexicana fija nueve metales pesados a considerar en el análisis de los cuerpos de agua determinando los parámetros permisibles para cada uno de ellos, que se considera no tienen repercusiones en la salud de la población.

Es muy importante saber la calidad de agua que tiene este cuerpo receptor ya que es el principal distribuidor de agua a los municipios de Guanajuato e Irapuato, es por ello que el objetivo principal de este trabajo fue determinar el grado de contaminación que tiene, provocado por metales pesados, de esta manera poder aportar soluciones que mitiguen la contaminación por estos parámetros y deducir las posibles fuentes de los mismos, dando como resultado mejoras en los ámbitos económicos, sociales y de salud.

Tabla 1. Toxicidad de parámetros incluidos en la NOM 127 SSA

Efectos en la salud	
Arsénico	Afecta a prácticamente todos los aparatos y sistemas del cuerpo, provoca serias afectaciones a la piel, hiperpigmentación cutánea en parches, queratosis focal pequeña, y otras lesiones dérmicas, puede provocar cáncer en pulmón y piel, e inclusive puede causar otros tipos de cánceres.
Cadmio	El Cadmio puede provocar irritación grave en el estómago, así como daños serios en los riñones. Además, es posible que el sistema óseo se vuelva frágil y aumente la posibilidad de romperse.
Cianuro	Es capaz de dañar el cerebro y el corazón. El sistema nervioso se ve seriamente afectado provocando daños motrices, pérdida de la visión y sordera.
Cobre	Puede causar vómitos, náuseas, dolor abdominal o diarrea, daño en los riñones o hígado.
Cromo	El cromo puede llegar a causar irritación y úlceras en el estómago y el intestino delgado y anemia.
Mercurio	Afecta el desarrollo y las actividades neurológicas. Causa afectaciones sobre los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel y los pulmones riñones y ojos.
Níquel	Bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar y cáncer em los pulmones y los senos nasales.
Plomo	La exposición al plomo también causa anemia, hipertensión, disfunción renal. De acuerdo con investigaciones, los daños neurológicos causados por el plomo son irreversibles.
Zinc	Puede producir calambres estomacales, náusea y vómitos. También provoca anemia, daño del páncreas y disminución del tipo de colesterol beneficioso (HDL) en la sangre.

Metodología

Este trabajo se desarrolló en tres etapas cruciales, Figura 2. En la Etapa 1, se llevó a cabo la toma de muestras de agua, así como el análisis de parámetros fisicoquímicos e in situ en base a la NOM 127 SSA. En la etapa 2 se procedió con el análisis de la calidad de agua en el laboratorio; posteriormente en la etapa 3 se realizó el análisis microbiológico.

Etapa 1: Se seleccionaron varios puntos de muestreo para la toma de muestras en varios puntos en la Presa la Purísima. Para la medición de parámetros fisicoquímicos se utilizó el equipo Orion™ Star™ A121 pH portátil, Thermo Scientific. Para los análisis de cationes y aniones in situ se determinó fue utilizado el equipo analítico portátil, colorímetro de campo, HACH, DR 900. Se cuantificó la cantidad de arsénico mediante el equipo arsenator de la marca Wagtech Digital (Carrillo; Safarzadeh-Amiri et al., 2011). Las metodologías utilizadas fueron acordé a los manuales HACH y Palintest, Cod. PT981(Subki et al., 2014).

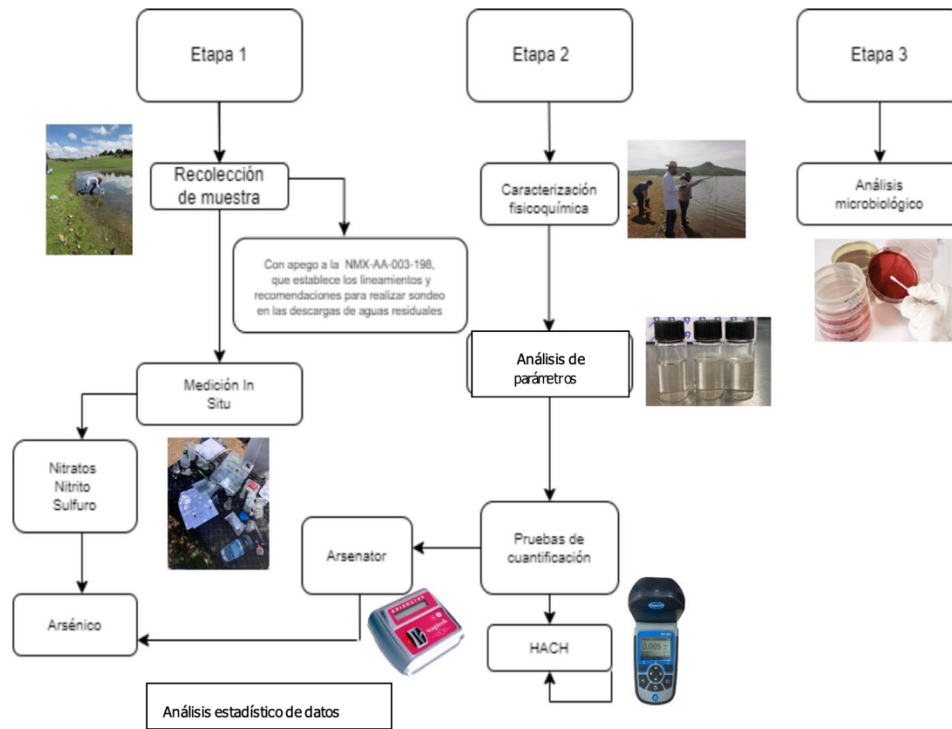


Figura 2. Etapas de la metodología llevada a cabo

Etapa 2: En esta etapa se lleva a cabo el análisis de los parámetros a nivel laboratorio, en base a la NOM 127 SSA. Los equipos utilizados fueron el espectrofotómetro Uv-vis HACH-DR3900 y el colorímetro Lamotte 1910 Smart 3; los reactivos para cada parámetro fueron de la marca HACH y Lamotte (Boyd, 1977; Lamotte). Las metodologías fueron las descritas en los manuales referentes a los equipos utilizados. Cada muestra fue analizada por triplicado. Los resultados obtenidos tanto en la Etapa 1 y 2 fueron analizados estadísticamente a través del software JMP, v.f 9.

Etapa 3. Análisis microbiológicos. Se lleva a cabo la inoculación en medios selectivos que consisten en la coloración del agar como indicador de la presencia de diferentes bacterias. Para la determinación de Salmonella, Escherichia coli y Proteus, se utilizó el agar Verde Brillante en medio sólido, el cual se dejó en crecimiento a 37°C por 24 horas. También se utilizó el agar de sulfito y bismuto, que indica la presencia de microorganismos patógenos al identificar diferentes colores en la estría sembrada en el medio, el tiempo de crecimiento fue de 24 horas a 37°C.

Resultados y discusión

En las tabla 2 se muestran los resultados obtenidos del análisis de los parámetros analizados de las muestras de agua obtenidas en la presa de la Purísima, así como su análisis estadístico. En la tabla 3 y 4, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico.



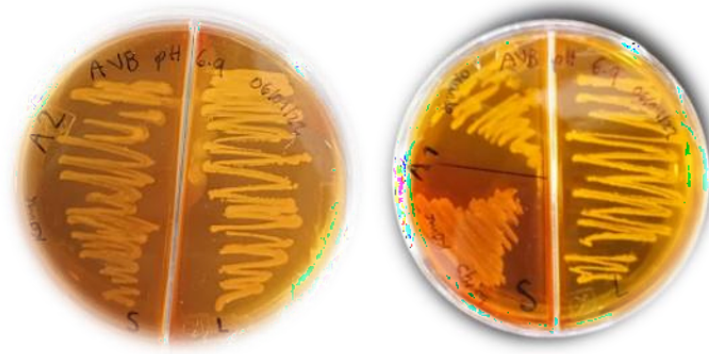
Figura 3: Horizonte Presa La Purísima; toma de muestra y medición pH

Tabla 2. Resumen estadístico de los parámetros medidos (mg/L)

	T (°C)	pH	EC (mS/cm)	TDS	DO	CaCO3	Ca2+	Mg2+	Br2+	Cl-	F-	NO2-	NO3-	Total N	SO42-	S2-	Cd2+	Total Cr	Cu2+	Fe2+	Mn2+	Hg	Pb	Zn	Total As	
N	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00	71.00
Mín	20.50	4.38	111.85	88.35	0.01	133.00	53.20	32.44	0.01	0.01	0.00	0.00	1.04	0.80	57.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Max	28.20	8.98	855.80	641.85	0.09	245.00	98.00	59.76	0.40	0.08	0.58	0.33	9.90	19.00	78.20	0.05	0.04	0.09	0.14	1.10	0.80	0.01	0.05	0.44	0.02	
Sum	1598.10	546.75	17548.95	13716.78	2.72	15100.40	6039.93	3562.39	6.59	2.76	13.96	7.44	344.58	145.97	4856.28	1.53	0.20	0.79	1.84	6.41	5.16	0.09	0.42	9.74	0.62	
Mean	22.51	7.70	247.17	193.19	0.04	212.68	85.07	50.17	0.09	0.04	0.20	0.10	4.85	2.06	68.40	0.02	0.00	0.01	0.03	0.09	0.07	0.00	0.01	0.14	0.01	
Std. error	0.15	0.10	19.47	13.54	0.00	2.15	0.86	0.60	0.01	0.00	0.02	0.01	0.25	0.30	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	
Variance	1.54	0.72	26906.44	19018.25	0.00	327.15	52.34	25.32	0.00	0.00	0.03	0.01	4.40	6.35	12.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	
Stand. dev	1.24	0.85	164.03	134.10	0.02	18.09	7.23	5.03	0.07	0.02	0.17	0.08	2.10	2.52	3.47	0.01	0.01	0.02	0.02	0.15	0.11	0.00	0.01	0.08	0.00	
Median	22.30	7.80	175.20	134.33	0.04	214.80	85.91	50.07	0.08	0.04	0.16	0.10	4.40	1.35	68.30	0.02	0.00	0.00	0.02	0.07	0.03	0.00	0.00	0.14	0.01	
25 percentil	21.67	7.57	141.40	116.40	0.03	204.80	81.91	47.15	0.04	0.03	0.00	0.06	3.36	1.10	66.70	0.02	0.00	0.00	0.01	0.03	0.02	0.00	0.00	0.08	0.01	
75 percentil	23.20	8.15	420.50	231.87	0.05	223.00	89.20	53.66	0.11	0.05	0.31	0.12	6.14	1.75	70.00	0.03	0.00	0.01	0.04	0.09	0.08	0.00	0.01	0.19	0.01	
Skewness	1.53	-2.00	1.81	1.91	0.57	-1.86	-1.86	-0.67	2.09	0.52	0.53	1.01	0.63	5.03	0.09	0.43	3.81	2.48	2.30	5.18	4.56	1.11	3.19	0.82	0.94	
Kurtosis	5.25	4.74	3.53	4.94	0.52	6.65	6.65	1.59	5.97	0.19	-0.69	0.78	-0.27	30.12	2.03	0.83	17.51	6.16	9.61	30.57	27.93	1.67	13.16	1.96	0.39	
Geom. mean	22.48	7.65	210.15	169.11	0.03	211.81	84.72	49.91	0.07	0.04	0.00	0.00	4.40	1.59	68.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.00	0.00	0.11	0.01	
Coeff. var	5.52	11.02	66.36	59.06	46.69	8.50	8.50	10.03	74.07	40.92	86.76	78.23	43.23	122.60	5.08	43.42	224.94	178.31	84.83	167.45	150.25	101.55	144.01	57.24	52.24	

Tabla 3. Respuesta al agar verde brillante pH 6.9

Muestra	Indicador	Interpretación
A3	Escasas colonias de color blanco rosadas o transparentes rodeadas por un halo rojizo del medio de cultivo	Presencia de bacterias <i>Proteus mirabilis</i> y <i>salmonella thypimurium</i>
A1, A2	Colonias amarillo-verdosas, rodeadas por un halo de color amarillo verdoso del medio de cultivo	Presencia de <i>Escherichia coli</i> y <i>Klebsiella pneumoniae</i>



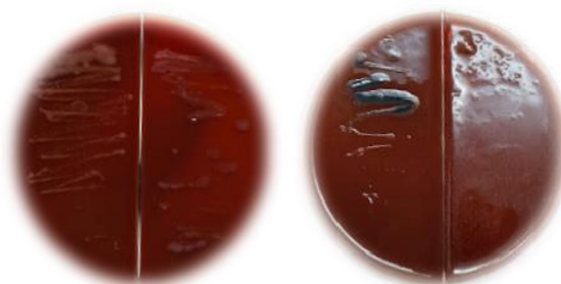
A) Muestra A2

B) muestra A1

Figura 4: Cambios en el color del agar que indican la presencia de microorganismos patógenos

Tabla 4. Respuesta al agar sulfito y bismuto

Muestra	Indicador	Interpretación
A3	Las colonias negras con brillo metálico, rodeadas de zonas parduzcas-negras	Colonias indicadoras de <i>Salmonella typhi</i>
A1, A2	Pequeñas colonias verdes, hasta marrones, algunas veces mucosas	Bacterias coliformes, Proteus y otras



A) Muestra A1

B) muestra A3

Figura 5: Cambios en el color de las colonias sembradas que indican presencia de microorganismos patógenos

Las muestras de agua de la Presa de la Purísima presentaron parámetros por encima de los límites permisibles que establece la NOM 127 SSA(NOM-127-SSA, 2019; Tratamientos & Que). El origen de fuentes probables de contaminación es debido por los efluentes y lixiviados que desembocan en este cuerpo de agua. Con cercanía geográfica, a la Presa de la Purísima se encuentra el sitio de disposición final de los residuos sólidos urbanos pertenecientes a la ciudad de Guanajuato, el escurrimiento de los lixiviados que se generan llega a este cuerpo de agua(Serafin Muñoz, 2022). Por otro lado, también desembocan ríos contaminados provenientes de la propia ciudad (Ghose & Majee, 2001; Miranda-Avilés et al., 2012; Razo et al., 2004). Guanajuato se caracteriza por ser un estado con gran actividad minera, misma que se remonta desde hace varios siglos atrás, la cual ha descuidado y minimizado el tratamiento que deben recibir las aguas residuales para evitar la proliferación de metales pesados y otros contaminantes utilizados por la industria(Arroyo et al., 2013; Carrillo-Chávez et al., 2003; Miranda-Avilés et al., 2012). Las afectaciones del Mercurio van encaminadas principalmente a la vida acuática que alberga la presa, ya que son estos organismos quienes acumulan el metal con el paso del tiempo y, posteriormente, dadas las actividades que se desarrollan alrededor de la presa, como el turismo y la pesca, es muy posible que llegue a tener contacto con los seres humanos (Olaniran et al., 2011; Parks et al., 1991; Žižek et al., 2011). Por otro lado, dados los usos del agua, como riego y abastecimiento urbano, el contener altos niveles de estos metales resulta en una calidad deficiente de este recurso. La comparación entre los niveles de cromo Hexavalente nos proyecta un aumento en época húmeda de casi 20 veces las concentraciones medidas en época seca, cifras que a pesar de no exceder la NOM-001 suponen una grave alteración al ecosistema y una amenaza a la salud humana (Guemiza et al., 2017; Hashem, 2020; Zhang et al., 2016). Por otro lado, las concentraciones de Arsénico también se vieron aumentadas, y superan en promedio 7 veces el valor guía recomendado por la Organización Mundial de la Salud. En cuanto a la actividad microbiana, se pueden observar resultados positivos al exponer las muestras tomadas en ambos medios sólidos selectivos, lo cual nos indica que se tiene presencia de microorganismos patógenos como Salmonella, Proteus, E. Coli, Coliformes, entre otras, las cuales es sabido por bibliografías consultadas, son dañinas para el ser humano, y su presencia en el agua indica la mala calidad que presenta la Presa. La NOM-001-SEMARNAT-2021 considera algunos microorganismos en sus límites máximos permisibles como coliformes y E. coli, sin embargo, la determinación de otros que no se encuentran dentro de la norma resulta preocupante pues para el uso que tiene el agua de este cuerpo receptor no deberían encontrarse.

Conclusiones

Este trabajo contribuye en el diagnóstico de la salud ambiental en cuanto a la calidad de agua de la Presa de la Purísima. Como perspectiva, deben trazarse proyectos de innovación sustentable para el tratamiento emergente de las aguas para la remoción de los contaminantes presentes, que garanticen una buena calidad continua del cuerpo de agua de uso antropogénico en base a las normas establecidas correspondientes.

Agradecimientos

Los autores agradecen al comité de Veranos UG 2022 y a la DAIP-UG por el apoyo otorgado, así como a la Secretaría del Edo de Guanajuato IdeaGTO, ya que este producto forma parte del proyecto Guanajuato Rumbo al Desarrollo Sustentable: Caso de Estudio Comunidades Sostenibles Etapa 2.0, (070/2021); 2021-2022.

Referencias bibliográficas

- Arroyo, Y. R., Muñoz, A. H., Barrientos, E. Y., Huerta, I. R., & Wrobel, K. (2013). Natural decrease of dissolved arsenic in a small stream receiving drainages of abandoned silver mines in Guanajuato, Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol*, 91(5), 539-544. <https://doi.org/10.1007/s00128-013-1091-7>
- Boyd, C. E. (1977). Evaluation of a water analysis kit (0047-2425).
- Cano Rodriguez, I., Vallejo, F., Mendez, V., Barbosa, P., Rodriguez, E., & Alvarado, A. (2000). Determinacion de contaminantes en la presa la purisima y su efecto en el sistema de pozos puentecillas de Guanajuato. In Spanish.

- Carrillo, Á. J. M. R. Evaluación de la efectividad del digital arsenator®(prueba in-situ de arsénico) comparada con un método validado de un laboratorio certificado, en la planta de tratamiento de arsénico del proyecto minero cerro blanco, Asunción Mita, Jutiapa.
- Carrillo-Chávez, A., Morton-Bermea, O., González-Partida, E., Rivas-Solorzano, H., Oesler, G., García -Meza, V., . . . Cienfuegos, E. (2003). Environmental geochemistry of the Guanajuato mining district, Mexico. *Ore Geology Reviews*, 23(3-4), 277-297.
- Cristina, N.-M., & Marco, R.-B. Relationship Between Spectral Response and Changes of Water Level: La Purísima Dam, Guanajuato, Mexico.
- Ghose, M. K., & Majee, S. R. (2001). Air pollution caused by opencast mining and its abatement measures in India. *J Environ Manage*, 63(2), 193-202. <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0434>
- Guemiza, K., Coudert, L., Metahni, S., Mercier, G., Besner, S., & Blais, J. F. (2017). Treatment technologies used for the removal of As, Cr, Cu, PCP and/or PCDD/F from contaminated soil: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 333, 194-214. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.03.021>
- Hashem, M. A. (2020). Water hyacinth biochar for trivalent chromium adsorption from tannery wastewater (vol 5, 100022, 2020) [Correction]. *Environmental and Sustainability Indicators*, 8, 1.
- Lamotte. LaMotte Instructions and Manuals. In. <https://lamotte.com/support/product-documentation/instructions-manuals/>
- Miranda-Avilés, R., Puy-Alquiza, M. J., & Pérez Arvizu, O. (2012). Anthropogenic metal content and natural background of overbank sediments from the mining district of Guanajuato, Mexico. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 21(5), 604-624.
- NOM-127-SSA. (2019). Proyecto de norma oficial mexicana proy-NOM-127-ssa1-2017, agua para uso y consumo humano . Límites permisibles de la calidad del agua. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2063863&fecha=31/12/1969#gsc.tab=0
- Olaniran, A. O., Balgobind, A., & Pillay, B. (2011). Quantitative assessment of the toxic effects of heavy metals on 1,2-dichloroethane biodegradation in co-contaminated soil under aerobic condition. *Chemosphere*, 85(5), 839-847. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.06.091>
- Parks, J. W., Curry, C., Romani, D., & Russell, D. D. (1991). Young northern pike, yellow perch and crayfish as bioindicators in a mercury contaminated watercourse. *Environmental monitoring and assessment*, 16(1), 39-73.
- Razo, I., Carrizales, L., Castro, J., Díaz-Barriga, F., & Monroy, M. (2004). Arsenic and Heavy Metal Pollution of Soil, Water and Sediments in a Semi-Arid Climate Mining Area in Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution*, 152(1), 129-152. <https://doi.org/10.1023/B:WATE.0000015350.14520.c1>
- Safarzadeh-Amiri, A., Fowlie, P., Kazi, A. I., Siraj, S., Ahmed, S., & Akbor, A. (2011). Validation of analysis of arsenic in water samples using Wagtech Digital Arsenator. *Science of the total environment*, 409(13), 2662-2667.
- Serafín Muñoz, A. H. (2022). Bioindicators and bio monitoring: Water quality control and sample management from La Purísima dam in the state of Guanajuato, Mexico, involving safety measures against covid 19.
- Subki, N. S., Hashim, R., & Muslim, N. Z. M. (2014). Heavy Metals Analysis of Batik Industry Wastewater, Plant and Soil Samples: A Comparison Study of FAAS and HACH Colorimeter Analytical Capabilities. In *From sources to solution* (pp. 285-289). Springer.
- Tratamientos, L. P. D. C. Y., & Que, A. MODIFICACION a 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.
- Zhang, H., Zhang, Y., Wang, Z., Ding, M., Jiang, Y., & Xie, Z. (2016). Traffic-related metal(loid) status and uptake by dominant plants growing naturally in roadside soils in the Tibetan plateau, China. *Sci Total Environ*, 573, 915-923. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.128>
- Zižek, S., Milačić, R., Kovač, N., Jačimović, R., Toman, M. J., & Horvat, M. (2011). Periphyton as a bioindicator of mercury pollution in a temperate torrential river ecosystem. *Chemosphere*, 85(5), 883-891. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.06.110>