

► Drought and irrigation water quality: The case of the Valsequillo dam in Puebla

SEQUÍA Y CALIDAD

DEL AGUA DE RIEGO

El caso de la presa de Valsequillo en Puebla

Por:  **Andrea Arredondo Navarro · Deborah Xanat Flores Cervantes · Estefanía Martínez Tavera**



Arredondo Navarro, A., Flores Cervantes, D. X. y Martínez Tavera, E. (2023) Sequía y calidad del agua de riego: El caso de la presa de Valsequillo en Puebla. *Entorno UDLAP*, 20
🔄 **Recibido:** 13 de febrero de 2023. ✓ **Aceptado:** 6 de junio de 2023.

► Drought and irrigation water quality: The case of the Valsequillo dam in Puebla

SEQUÍA Y CALIDAD

DEL AGUA DE RIEGO

El caso de la presa de Valsequillo en Puebla

Por:  **Andrea Arredondo Navarro · Deborah Xanat Flores Cervantes · Estefanía Martínez Tavera**



Arredondo Navarro, A., Flores Cervantes, D. X. y Martínez Tavera, E. (2023) Sequía y calidad del agua de riego: El caso de la presa de Valsequillo en Puebla. *Entorno UDLAP*, 20
🔄 **Recibido:** 13 de febrero de 2023. ✓ **Aceptado:** 6 de junio de 2023.

 RESUMEN

La presa Manuel Ávila Camacho es un área natural protegida y un centro recreativo. Su objetivo principal es suministrar agua al distrito de riego 030 (DR30). Sin embargo, las sequías del 2022 y la necesidad de enviar mayores volúmenes de agua a comunidades agricultoras río abajo no permitieron su recuperación completa y se teme que no se alcancen los volúmenes necesarios para los cultivos del 2023. La sequía, además de afectar la cantidad de agua, afecta la calidad del medio natural en la zona, comprometiendo la salud y la economía de los pobladores de la Presa, de los agricultores y de los que habitamos y consumimos productos del DR30. Por lo tanto, a continuación, se exponen valores de oxígeno disuelto (OD) medidos antes y después de la apertura de compuertas en agosto de 2022, en donde se observa un alto deterioro en la calidad del embalse. Esto demuestra que la seguridad hídrica no sólo obedece a la cantidad sino también a la calidad.

 PALABRAS CLAVE

Presa de Valsequillo • Sequía • Calidad del agua

 ABSTRACT

The Manuel Ávila Camacho dam is a natural protected area and a recreational center. Its main purpose is to supply water to the Irrigation District 030 (DR30). However, the droughts of 2022 and the need to deliver larger volumes to agricultural communities downstream did not allow its full recovery, and it is believed that the necessary volumes for the crops of 2023 will not be reached. In addition to affecting the quantity of water, the drought affects the quality of the natural environment in the area, compromising the health and economy of the inhabitants of the dam, the agricultural workers, and those of us who live in and consume products from the DR30. Dissolved oxygen (DO) values were measured before and after the opening of the gates in August 2022, which demonstrated a high deterioration in the quality of the reservoir. This proves that water security is not only due to quantity but also to quality.

 KEYWORDS

Valsequillo Dam • Drought • Water quality

INTRODUCCIÓN

La presa Manuel Ávila Camacho (conocida como presa de Valsequillo) pertenece a la cuenca del alto Atoyac, que es parte de la región hidrológica del Balsas y la región hidrológico-administrativa IV Balsas. Fue designada, en 2012, como humedal de importancia internacional (sitio Ramsar no. 2027) y área natural protegida de jurisdicción estatal «Humedal de Valsequillo», debido a que la habitan diversas aves protegidas, tanto residentes como migratorias. Además, representa el hogar de 21 especies de reptiles, 15 especies de mamíferos, ocho especies de anfibios y dos especies de peces (Berumen-Solórzano *et al.*, 2015). Este humedal artificial también se utiliza como centro recreativo y turístico en el cual personas extranjeras y locales realizan recorridos en lancha, retiros en fincas, estancias en cabañas y como lugar de descanso durante los fines de semana.

Sin embargo, el objetivo principal de la presa es suministrar agua a los seis módulos en los que está organizado el distrito de riego 030 (DR30). El DR30 abarca parte de los valles de Tecamachalco, Tlacotepec y Tehuacán, irrigando una superficie agrícola de aproximadamente 35,000 hectáreas de la zona a través del canal principal de riego, con una longitud aproximada de 105 kilómetros y 525.5 kilómetros de canales secundarios (Puebla, Gobierno Municipal, 2011). En 2020, este distrito de riego permitió producir más de 500,000 toneladas de alimentos (maíz, frijol, alfalfa, sorgo y chile), que representaron una ganancia de 940 millones de pesos para las comunidades que lo conforman (CONAGUA, 2022a)¹.

Con el fin de proveer de manera óptima el agua de riego, cada año se abren las compuertas de la presa en tres ocasiones de acuerdo

¹ Para conocer los valores de los volúmenes asignados al DR30 y otros distritos de riego, consultar CONAGUA (REPD), 2022.



El Atoyac es el segundo río más contaminado del país.

Fotografía: Andrea Arredondo



con los ciclos de cultivo. La primera sucede entre marzo y abril, la segunda entre mayo y junio, y la tercera en julio. Durante el año 2022, la última apertura de compuertas se realizó en julio para poder cumplir con los 250 millones de metros cúbicos autorizados para riego (CONAGUA, REPDA, 2022).

Lo anterior generó una reducción del 68 % en el porcentaje de capacidad del embalse (pasó del 88 % al 20 %), dejándolo en el nivel más bajo observado en los últimos diez años. Usualmente, la recuperación del nivel de la presa solía llevarse a cabo entre los meses de julio y octubre, que representan la temporada de lluvias en la zona (Cruz-Cortés, 2022). Pero, como en muchas otras partes del país, los niveles de sequía que en la cuenca van de «anormalmente seco D0» a «sequía moderada D1» no permitieron su recuperación completa (CONAGUA, 2022c). Al día 8 de diciembre de 2022 se reportó una capacidad almacenada de 67 %, un porcentaje inferior al 101 % que presentó en la misma fecha del año anterior (CONAGUA, 2022b). Esto afectó a las miles de personas que dependen del DR30 para subsistir, incluyendo a productores y agricultores, a los consumidores de productos locales, a la economía de los municipios que lo comprenden y al estado de Puebla. Además de los efectos inmediatos que tuvo el bajo nivel de agua en la presa, como la dificultad de tránsito entre cinco comunidades y la capital poblana (conectados a través de un transbordador conocido como «la panga»).

Ahora bien, el enfoque de la problemática del DR30 está dirigido mayormente a la cantidad de agua que abastecerá a los cultivos, y si ésta alcanzará o no. Pero los bajos niveles en la presa también afectan la calidad del agua y

Presa de Valsequillo

2012

Fue designada como humedal de importancia internacional (sitio Ramsar no. 2027) y área natural protegida de jurisdicción estatal «Humedal de Valsequillo».

2020

Este distrito de riego permitió producir más de 500,000 toneladas de alimentos (maíz, frijol, alfalfa, sorgo y chile), que representaron una ganancia de 940 millones de pesos para las comunidades que lo conforman.



▶ 21 ESPECIES DE REPTILES



▶ 15 ESPECIES DE MAMÍFEROS



▶ OCHO ESPECIES DE ANFIBIOS



▶ DOS ESPECIES DE PECES



▶ CON EL FIN DE PROVEER DE MANERA ÓPTIMA EL AGUA DE RIEGO, CADA AÑO SE ABREN LAS COMPUERTAS DE LA PRESA EN TRES OCASIONES DE ACUERDO CON LOS CICLOS DE CULTIVO.

del aire de la zona. Durante los periodos de niveles bajos del agua, los sedimentos, altamente contaminados con químicos tóxicos y metales pesados (Mora *et al.*, 2021), y que normalmente están sumergidos, son expuestos, poniendo en riesgo a los pobladores de la presa.

Más aún, en sequías la concentración de contaminantes presentes en cuerpos de agua aumenta, debido a una menor dilución ocasionada por una disminución en la precipitación.

Es importante recordar que la presa se alimenta del segundo río más contaminado del país: el Atoyac. Éste nace de los escurrimientos de la sierra de Tlaxco, en el norte del estado de Tlaxcala y de los escurrimientos del volcán Iztaccíhuatl. Los afluentes confluyen en el norte de la ciudad de Puebla y luego corren a lo largo de la zona urbana hasta llegar a la presa. El río Atoyac ha sufrido de una intensa contaminación desde los años setenta con la instalación de las industrias petroquímicas, metalúrgicas y automotrices, además de la industria textil ya existente, de la agricultura y de la alta expansión demográfica en la Zona Metropolitana de Puebla y Tlaxcala (ZMPT). De modo que la presión sobre el río y sus principales afluentes se ha incrementado, produciendo una compleja y fuerte contaminación que ha deteriorado enormemente este sistema fluvial (Mora *et al.*, 2021). En el cuerpo de agua, por ejemplo, se han detectado diversos contaminantes cancerígenos y mutagénicos. De hecho, un estudio demostró que los niños asentados en las orillas del río presentaron valores dos veces superiores de índice de estrés oxidativo (OSI) que los mostrados por niños que vivían a mayor distancia de éste; asimismo, presentaron valores elevados de metabolitos BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) detectables en la orina (Mora *et al.*, 2021).

EL 8 DE DICIEMBRE DE 2022 SE REPORTÓ UNA CAPACIDAD ALMACENADA DE 67 %, UN PORCENTAJE INFERIOR AL 101 % QUE PRESENTÓ EN LA MISMA FECHA DEL AÑO ANTERIOR (CONAGUA, 2022B).



Desembocadura de la presa Echeverría del río Atoyac, situada en el municipio de Ocoyucan (atrás de Lomas de Angelópolis, Puebla).

Fotografía: Andrea Arredondo (abril de 2022).

En este sentido, se observa que hay otros efectos que puede generar la sequía en la salud de habitantes, animales y cultivos de la zona, a los cuales no se les está dando la atención merecida y que, en definitiva, resultan relevantes para la vida de la región tanto a corto como a largo plazo.

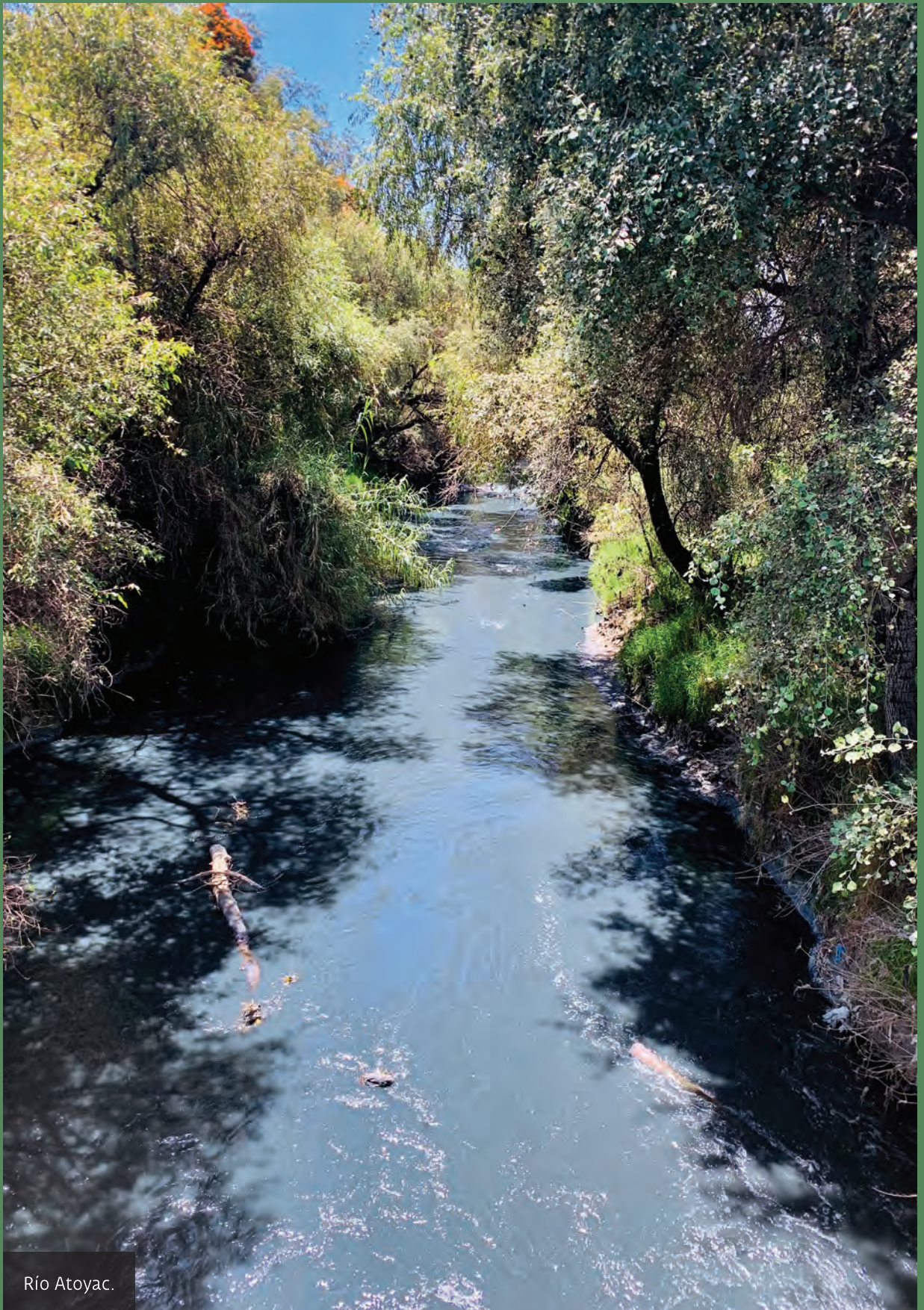
DISCUSIÓN

Normalmente, el lirio (conocido como «consorcio de macrófitas») y algunos procesos como la sedimentación y la dilución permiten tener una calidad de agua «aceptable» para riego en la

presa (Ayala-Osorio *et al.*, 2015; Tabla-Hernández, 2019). Pero, al reducir de manera histórica los volúmenes líquidos de la presa, fenómenos como la mezcla de sedimentos (donde se acumulan contaminantes como metales pesados y otros) con el agua y la muerte de una gran parte del consorcio de macrófitas (el cual permite la depuración del río antes de entrar a la presa), provocan que la calidad del agua se deteriore y comprometa la salud de miles de personas, plantas y animales.

Para poner un ejemplo de algún parámetro que represente la calidad del cuerpo de agua,

LA PRESA SE ALIMENTA DEL SEGUNDO RÍO MÁS CONTAMINADO DEL PAÍS: EL ATOYAC. ÉSTE NACE DE LOS ESCURRIMIENTOS DE LA SIERRA DE TLAXCO, EN EL NORTE DEL ESTADO DE TLAXCALA Y DE LOS ESCURRIMIENTOS DEL VOLCÁN IZTACCÍHUATL.



Río Atoyac.

Fotografía: Andrea Arredondo (abril de 2022).

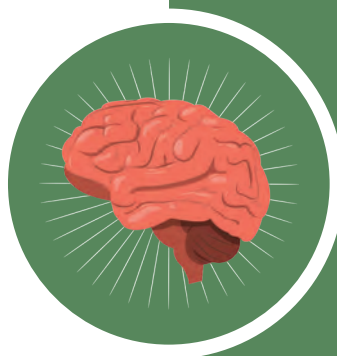
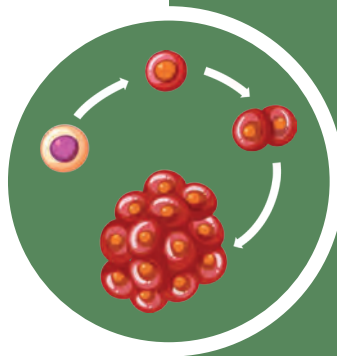
medido antes y después de la apertura de compuertas de junio y julio de 2022, se hablará del oxígeno disuelto (OD). El OD, como su nombre lo indica, representa la concentración de oxígeno disuelto en el agua. Los cuerpos de agua reciben oxígeno de la atmósfera y de ciertas plantas acuáticas. Su monitoreo es esencial, ya que los organismos acuáticos lo necesitan para vivir. Así que la concentración necesaria para el soporte de la vida depende de la especie en cuestión, pues algunas requieren altos niveles para sobrevivir (como la mosca de piedra o la trucha) y otras no tan altos (como el bagre, los gusanos y las libélulas). Por lo general, los niveles de OD menores a 3 mg/L son preocupantes y las aguas con niveles inferiores a 1 mg/L se consideran hipóxicas y normalmente carentes de vida (EPA, 2021).

Dicho lo anterior, en abril de 2022 (antes de la apertura de compuertas) se tomaron medidas in situ del agua de la Presa de Valsequillo, y en un sitio cercano a las compuertas el nivel máximo de OD fue de 10 mg/L (a nivel superficial). Esta concentración permite la vida de diversas especies y puede considerarse como un nivel «aceptable» de OD en el agua. Sin embargo, la medición de OD tomada en agosto de 2022 (después de que se vaciara la presa), en el mismo sitio y a la misma profundidad, a partir de datos propios, fue de 3.3 mg/L; una concentración que dificulta la vida acuática. Además, hay que mencionar que en la toma de medidas en abril no se encontraron zonas hipóxicas (lo cual demostraba una calidad de agua aceptable), pero de las 30 medidas estudiadas en agosto se encontraron once sitios sin oxígeno (seis sitios a tres profundidades distintas y un sitio a once profundidades, para realizar el perfil de profundidades).

La gran diferencia observada en este parámetro (OD) y en otros similares nos lleva a suponer que, al no reestablecerse el nivel anterior (88 % de la capacidad del embalse), el agua de riego del 2023 tendrá una calidad mucho menor que la del 2022, lo que sin duda ha puesto en riesgo las cosechas, la salud y la economía de los habitantes del DR30.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las decisiones del manejo integral de los recursos hídricos deben basarse cada vez más en datos duros y concretos, y menos en promesas sin fundamentos y sin estudios previos. En cuanto a la cantidad, las decisiones deberían basarse sobre cálculos en predicciones acertadas de sequía y consumo; y en cuanto a la calidad, se de-



Índice de estrés oxidativo (OSI) y metabolitos BTEX

OSI

Índice que demuestra una afección que se presenta cuando hay moléculas inestables en el cuerpo, denominadas «radicales libres», y no hay suficientes antioxidantes para eliminarlas. Esto puede generar daños en las células y tejidos. A largo plazo, el estrés oxidativo interviene en el envejecimiento y en la aparición de inflamación crónica, cáncer y otras enfermedades. Cuando el índice es mayor, entonces es mayor el estrés oxidativo y, por lo tanto, es peor el estado de la salud (Instituto Nacional del Cáncer, 2022).

Metabolitos BTEX

Disruptores endocrinos (químicos capaces de mimetizar nuestras hormonas y, por ende, de alterar el correcto funcionamiento corporal y generar efectos negativos en nuestra salud) que son tóxicos, altamente volátiles y fácilmente absorbidos por los pulmones. Pueden causar consecuencias adversas para la salud humana, tales como enfermedades neurológicas y cáncer (González *et al.*, 2017).

bería asegurar principalmente que el río reciba descargas tratadas que cumplan con la normativa oficial mexicana y la declaratoria que aplica a la zona (explicadas más adelante).

Pero ¿cómo lograr una calidad de agua adecuada² independientemente de la cantidad que haya en la presa? Hay dos pilares básicos para poder restaurar un cuerpo de agua, que pueden guiarnos hacia una respuesta concreta: tecnología y normativa.

Por un lado, está la tecnología para remover contaminantes de las descargas que llegan al río. En efecto, hay ejemplos alrededor del mundo de cómo es posible rescatar un río muerto (como el caso del río Atoyac). A mediados del siglo XIX, el río Támesis (Reino Unido) se enfrentaba a problemas similares a los del río Atoyac, relacionados con la creciente población en la ciudad de Londres y el rápido desarrollo económico originado desde el inicio de la Revolución industrial. En consecuencia, la calidad del agua se deterioró a medida que los desechos humanos producidos por la población se vertían directamente en el río (Royal Museums Greenwich, 2023). Esto provocó brotes de cólera y dio lugar a lo que se conoció como «El gran hedor» de 1858, que fue el fenómeno que obligó a cerrar el Parlamento inglés (Sharma, Joshi y Bowes, 2021). Posteriormente, una serie de mediciones realizadas en la década de 1950 mostraron que los niveles de oxígeno disuelto (OD) en el Támesis eran de 0.5 mg/l (Sharma, Joshi y Bowes, 2021), condiciones muy similares a las del río Atoyac, de modo que, en aquellas instancias, era prácticamente imposible que el afluente albergara cualquier tipo de vida acuática.

Esta situación llevó al gobierno británico a emprender mejoras sanitarias a gran escala, lo que implicó la construcción de colectores y plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales, tras varios años, lograron transformar de manera positiva la salud ecológica del Támesis. Esto generó que, en las últimas dos décadas del siglo, más de 2,000 focas, cientos de marsopas y delphinidos y hasta una ballena fueran vistas pasar en el río, dejando ver que la restauración casi total

² No existe una normativa mexicana que regule la calidad de agua de un cuerpo de agua, por lo que en este escrito la palabra «adecuada» se refiere a que se cumpla con las concentraciones establecidas en algunos estándares para algunos lagos recreativos en Estados Unidos (ver Pennsylvania Lake Management Society, 2023; Illinois Environmental Protection Agency, 1998).

EN LA TOMA DE MEDIDAS EN ABRIL NO SE ENCONTRARON ZONAS HIPÓXICAS (LO QUE DEMOSTRABA UNA CALIDAD DE AGUA ACEPTABLE), PERO DE LAS 30 MEDIDAS ESTUDIADAS EN AGOSTO SE ENCONTRARON 11 SITIOS SIN OXÍGENO. ESTA GRAN DIFERENCIA NOS LLEVA A SUPONER QUE, AL NO REESTABLECERSE EL NIVEL ANTERIOR (88 % DE LA CAPACIDAD), EL AGUA DE RIEGO DEL 2023 TENDRÁ UNA CALIDAD MUCHO MENOR QUE LA DEL 2022.

de un cuerpo de agua es posible (Royal Museums Greenwich, 2023; Sharma, Joshi y Bowes, 2021).

Este ejemplo demuestra que el tratamiento de aguas residuales e industriales lleva estudiándose cientos de años y que existen diversos métodos tecnológicos que pueden aplicarse a las descargas que llegan a los ríos. Por ello, la implementación de plantas de tratamiento diseñadas específicamente para cada tipo de descarga es urgente, así como un mejor manejo de las plantas municipales ya existentes.

Por otro lado, la normativa o regulación es algo ya existente. La industria que descarga sus aguas residuales al Atoyac se regía por la NOM-001-SEMARNAT-1996 (ahora 2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación) hasta el 2011. En ese año se publicó en el DOF (2011) la «Declaratoria de clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes» en la cual se establecen los límites de descarga de contaminantes específicos para la subcuenca y en donde, además, se busca expresamente restaurar los ríos (usualmente con límites más estrictos y especificando contaminantes que han sido identificados y que afectan la zona).

Ahora bien, si ya se cuenta con la tecnología, la normativa y el dinero (muchas de las empresas que maquilan en la cuenca son internacionales y con ingresos millonarios) para tener un río y, en consecuencia, una presa saludable, entonces, ¿por qué no se lleva a cabo un proyecto como el implementado en el río Támesis?



NORMALMENTE, EL LIRIO (CONOCIDO COMO «CONSORCIO DE MACRÓFITAS») Y ALGUNOS PROCESOS COMO LA SEDIMENTACIÓN Y LA DILUCIÓN PERMITEN TENER UNA CALIDAD DE AGUA «ACEPTABLE» PARA RIEGO EN LA PRESA.



Consortio de macrófitas en la presa de Valsequillo.

Fotografía: Andrea Arredondo (abril de 2022).



EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES E INDUSTRIALES LLEVA ESTUDIÁNDOSE CIENTOS DE AÑOS Y EXISTEN DIVERSOS MÉTODOS TECNOLÓGICOS QUE PUEDEN APLICARSE A LAS DESCARGAS QUE LLEGAN A LOS RÍOS. POR ELLO, LA IMPLEMENTACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DISEÑADAS ESPECÍFICAMENTE PARA CADA TIPO DE DESCARGA ES URGENTE.

Es posible que la toma de decisiones actuales se guíe principalmente por intereses político-económicos, a partir de los cuales no se toma en cuenta ni a los millones de personas ni a miles de animales que dependen de o habitan la cuenca. También es posible que los gobernantes no estén al tanto del potencial económico que la restauración de la cuenca podría traer a la región, tal y como se ha visto en muchos otros lugares a nivel mundial, incluido el caso del río Támesis.

Para finalizar, y a partir del caso de la presa de Valsequillo, lo expuesto en estas líneas permite ver que la gestión del agua en nuestro municipio y en nuestro estado debería integrar acciones eficaces, conscientes y eficientes si se quiere promover un desarrollo sostenible en la región, que sea incluyente y para todos. Por ello, debemos aprender de lo que está sucediendo en otros estados y países alrededor de estos temas. Porque la gestión de la seguridad hídrica no sólo obedece a la cantidad, sino también a la calidad. En este sentido, hemos visto que la concientización del problema de la contaminación de la cuenca a nivel estatal (Puebla y Tlaxcala) y a nivel nacional es urgente y requiere de la atención de todos los habitantes y los sectores productivos para que se le dé el lugar y la atención que la problemática merece.



Andrea Arredondo Navarro

Es candidata a doctora en Ciencias del Agua por la Universidad de las Américas Puebla y becaria CONACYT. Actualmente es estudiante asociada a la cátedra UNESCO de la misma universidad y colabora con distintas universidades en el desarrollo de la investigación «Plásticos en la cuenca del Alto Atoyac: Caracterización y estimación de índices de riesgo de microplásticos y compuestos orgánicos persistentes asociados con meso y macroplásticos».

andrea.arredondono@udlap.mx



Deborah Xanat Flores Cervantes

Catedrática-investigadora (SNI nivel 1) del Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental de la UDLAP. Doctora en Ingeniería Civil y Ambiental, con especialidad en Química Ambiental por el Massachusetts Institute of Technology (MIT). Actualmente es profesora en el Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental de la UDLAP. Sus proyectos de investigación incluyen el desarrollo de nuevas tecnologías y materiales para la remoción de contaminantes en el agua, y el desarrollo de metodologías para la detección y cuantificación de contaminantes emergentes en el agua.

deborah.flores@udlap.mx



Estefanía Martínez Tavera

Catedrática-investigadora (SNI nivel 1, AI) de la Facultad de Ingeniería Ambiental, Decanato de Ciencias Biológicas, de la UPAEP. Es líder de los proyectos «Biomonitorio y salud ambiental» y «Microplásticos en cuencas hidrográficas: presencia, origen, procesos de degradación y acumulación», ambos en la cuenca del Alto Atoyac, y «Estado base de agua, sedimentos y biota en la subcuenca del río Tecolutla, en el estado de Puebla». Sus temas de investigación son procedencia de contaminantes, contaminantes emergentes como trazadores de contaminación y toxicidad ambiental.

estefania.martinez@upaep.mx

REFERENCIAS

- Ayala-Osorio, A., González-Contreras, S., Santamaria-Juárez, J. y Silva-Gómez, S. (2015). Calidad fisicoquímica del agua del distrito de riego 030 «Valsequillo» para riego agrícola. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*. Obtenido de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2020/03/Calidad-fisico-qu-%0C3-%0ADMica-del-agua-del-distrito-de-riego-030-%0E2-%080-%09CValsequillo-%0E2-%080-%09D-para-riego-agr-%0C3-%0ADcola.pdf>
- Berumen-Solórzano, A., Maimone-Celorio, M., Villordo-Galván, J., Olivera-Ávila, C., Gaspariano-Martínez, E. y González-Oreja, J. (2015). Nuevos registros de aves acuáticas en la Presa de Valsequillo, Puebla. *Revista Mexicana de Ornitología*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/756/75643504013/html/#:~:text=Valsequillo%20fue%20designado%20sitio%20Ramsar,finalmente%20porque%20se%20han%20observado>
- Comisión Nacional del Agua. (17 de agosto de 2022). Consulta a la base de datos del REPDA. Obtenido de *Registro Público de Derechos de Agua*: <https://app.conagua.gob.mx/ConsultaRepda.aspx>
- Comisión Nacional del Agua. (2022a). Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Obtenido de *Comisión Nacional del agua-documentos*: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- Comisión Nacional del Agua. (2022b). Gerencia de Planificación Hídrica. Obtenido de Sistema Nacional de Información del Agua (SINA): <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>
- Comisión Nacional del Agua. (2022c). Monitor de Sequía en México (MSM). Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx>: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>
- Cruz-Cortés, D. (3 de agosto de 2022). Cultivos están en riesgo por la falta de agua en la presa de Valsequillo. *El Sol de Puebla*. Obtenido de <https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/cultivos-estan-en-riesgo-por-la-falta-de-agua-en-la-presa-de-valsequillo-8684341.html>
- Cuaya, M. (3 de agosto de 2022). Sequía en la presa Valsequillo incomunica a cinco comunidades de Puebla. *El Sol de México*. Obtenido de <https://www.elsoldemexico.com.mx/republica/sociedad/sequia-en-la-presa-valsequillo-incomunica-a-cinco-comunidades-de-puebla-8684486.html>
- Diario Oficial de la Federación*. (2011). DECLARATORIA de clasificación de los ríos Atoyac y Xochiac o Hueyapan, y sus afluentes. Obtenido de DOF: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5199672&fecha=06/07/2011#gsc.tab=0
- Diario Oficial de la Federación*. (2021). 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. Obtenido de DOF: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0
- González, J., Pell, A., López-Mesas, M. y Valiente, M. (2017). Simultaneous determination of BTEX and their metabolites using solid-phase microextraction followed by HPLC or GC/MS: An application in teeth as environmental biomarkers. *Science of the Total Environment*, 603-604(15), 109-117. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.05.267
- Illinois Environmental Protection Agency. (1998). Common Lake Water Quality Parameters. Obtenido de *Lake notes*: <http://www.epa.state.il.us/water/conservation/lake-notes/quality-parameters.pdf>
- Instituto Nacional del Cáncer. (2022). Estrés oxidativo. Obtenido de *Diccionarios del NCI*: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/estres-oxidativo>
- Mora, A., García-Gamboa, M., Sánchez-Luna, M., Gloria-García, L., Cervantes-Avilés, P. y Mählknecht, J. (2021). A review of the current environmental status and human health implications of one of the most polluted rivers of Mexico: The Atoyac River. *Science of the Total Environment*, 782, 146788. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.146788
- Pennsylvania Lake Management Society. (2023). Water Quality Parameters A Fact Sheet of The Pennsylvania Lake Management Society. Obtenido de <https://files.knowyourh2o.com/pdfs/FS-WQ-Parameters.pdf>
- Puebla: Gobierno Municipal. (2011). Programa municipal de desarrollo urbano sustentable de Puebla. Obtenido de *pueblacapital.gob.mx*: <https://www.pueblacapital.gob.mx/vi-plan-es-municipales-de-desarrollo-programa-municipal-de-desarrollo-urbano-sustentable-de-puebla>
- Royal Museums Greenwich. (2023). Pollution in the River Thames: a history. *RMG* Obtenido de <https://www.rmg.co.uk/>
- Sharma, V., Joshi, H. y Bowes, M. (2021). A Tale of Two Rivers: Can the Restoration Lessons of River Thames (Southern UK) Be Transferred to River Hindon (Northern India)? *Water, Air, and Soil Pollution*. doi:10.1007/s11270-021-05152-w
- Tabla-Hernández, J. (2019). *Estudio de la optimización del proceso de biofiltración en la presa Valsequillo, Puebla, México para la restauración parcial del Paisaje de la zona*. Instituto Politécnico Nacional.
- United States Environmental Protection Agency. (2021). What is dissolved oxygen? Obtenido de *National Aquatic Resource Surveys*: [https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-dissolved-oxygen#:~:text=Dissolved%20oxygen%20\(DO\)%20is%20the,of%20a%20pond%20or%20lake](https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-dissolved-oxygen#:~:text=Dissolved%20oxygen%20(DO)%20is%20the,of%20a%20pond%20or%20lake)