

Variación de los parámetros *in-situ* y el estado trófico de la presa de La Purísima

Cinthya Alejandra Espinoza Gómez¹, Andrea Sarahí García González², Adriana Sofía Guerrero Aguirre¹, Raquel Guadalupe Ramírez Cossio¹, Paulina Silva Romero¹, Dalía Zavala Urrutia¹, Gabriela Ana Zano³.

¹Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. Ex Hacienda El Copal, km 9 Carretera Irapuato-Silao AP. 311 CP. 36500 Irapuato, Guanajuato.

²Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Universidad de Guanajuato.

³Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. Ex Hacienda El Copal, km 9 Carretera Irapuato-Silao AP. 311 CP. 36500 Irapuato, Guanajuato.

Resumen

La presa La Purísima, ubicada en el estado de Guanajuato, es un sistema lacustre que desarrolla diversas funciones socioeconómicas y ecológicas para la región. Sus principales funciones son la recarga subterránea, la pesca, el riego agrícola y la recreación. Sin embargo, en los últimos años, este reservorio ha estado sujeto a problemáticas ambientales, asociadas principalmente con la contaminación orgánica e inorgánica, y la eutrofización. El objetivo de este trabajo fue analizar la variación espacial y vertical de los parámetros *in-situ* y el estado trófico de la presa La Purísima: pH, oxígeno disuelto (OD), temperatura, sólidos disueltos totales (SDT) y turbidez del agua. Se determinó que los valores de pH y SDT cumplieron con los límites establecidos en la normatividad nacional para riego agrícola. Los valores de OD en la capa superficial del agua resultaron aptos para la protección de la vida acuática; sin embargo, sus valores mostraron una tendencia decreciente con la profundidad, alcanzando un valor mínimo de 0.93 ppm a los 20 m de profundidad. En la zona hipolimnética y en los sitios ribereños se observaron valores disminuidos del OD debido a la descomposición de la materia orgánica y a una mayor descarga de aguas residuales aportadas por los afluentes. El Índice de estado trófico (IET) evidenció un estado eutrófico para la presa, lo cual conduce a una mayor turbiedad del agua, valores altos de pH en superficie y consumo de oxígeno en la zona de aguas profundas. Este estudio es de importancia debido a que informa sobre la calidad del agua de la presa La Purísima y permite generar conciencia de la importancia del cuidado y preservación de los sistemas lacustres y su biodiversidad.

Palabras clave: sistemas lacustres, calidad del agua, eutrofización, impacto antrópico, estado de Guanajuato.

Introducción

Los lagos son cuerpos de agua lénticos que ocupan una depresión topográfica sobre la superficie de la Tierra (Wetzel, 2001). Existen distintos tipos de ambientes lacustres que presentan diferentes orígenes naturales: tectónicos, glaciales, fluviales, volcánicos, formados por erosión, disolución o impacto meteorítico, y reservorios de origen artificial (Cohen, 2003). En las últimas décadas, el hombre ha realizado la construcción de reservorios artificiales o embalses, como una alternativa para satisfacer las demandas crecientes por el recurso hídrico y para ofrecer soluciones con respecto a usos del agua determinados. Sin embargo, recientemente, los cuerpos de agua a nivel mundial han estado sometidos a fuertes impactos antropogénicos (por ej., Wu et al., 2018, Zhao et al., 2019; Lecomte et al., 2022). El aumento poblacional y las demandas crecientes de agua han generados enormes presiones sobre los recursos hídricos. México no es ajeno a esta problemática. En años recientes ha aumentado la preocupación de la sociedad por los temas asociados a la contaminación, la sobreexplotación y la escasez de agua.

La Presa La Purísima (LP), área de estudio del presente proyecto se encuentra localizada al suroeste del municipio de Guanajuato (estado de Guanajuato; Figura 1). LP fue construida entre los años 1978-1979, principalmente para el control de avenidas y como almacenamiento de agua para riego agrícola. Actualmente, sus funciones principales son: la pesca, la recreación, el abastecimiento de agua al Distrito de Riego 011 y la recarga de acuíferos locales. Este reservorio se encuentra ubicado en la región hidrológica Lerma-Santiago, un espacio geográfico sometido a un alto impacto por fuentes antrópicas en su área de influencia y a una alta densidad poblacional. A esto hay que sumarle la explotación minero-metalúrgica dentro del Distrito Minero

de Guanajuato (DMG), que se ha desarrollado a lo largo de los últimos cinco siglos (Carrillo-Chávez et al., 2003).

Hasta el presente, existen pocos estudios que aborden el tema de la calidad del agua y sedimentos de la presa. Un estudio previo por Cano et al. (2000) indicaron altas concentraciones de Pb, Cr, As, Hg y Se en las aguas de LP, todos los valores por encima de los límites permisibles para la vida acuática de acuerdo con la normatividad mexicana. Miranda et al. (2009) reportaron un alto nivel de Cu, Pb y Zn en los sedimentos de la llanura aluvial del río Guanajuato, valores superiores a la concentración de estos elementos en la corteza continental superior. Chaparro et al. (2020) documentaron un enriquecimiento moderado en sedimentos del fondo de la LP por As, Ba, Cd, Ni y S, asociado con la actividad minera histórica en la región. Lecomte et al. (2022) determinaron que el agua de LP es apta para el riego agrícola y para la protección de la vida acuática (PVA).

El objetivo principal de este estudio es analizar la variación espacial y vertical de los parámetros *in-situ* y el estado trófico en la presa LP. Se evaluaron los cambios en los parámetros: pH, oxígeno disuelto (OD), temperatura (T) y Sólidos Disueltos Totales (SDT), en distintos sitios de la presa y a diferentes profundidades. Además, se calculó el índice de estado trófico (IET) con base en mediciones de transparencia usando un Disco de Secchi (DS). Esta investigación permitirá evaluar la calidad del agua de la presa y su estado trófico, cuya información será de utilidad para la protección del ecosistema y su gestión.

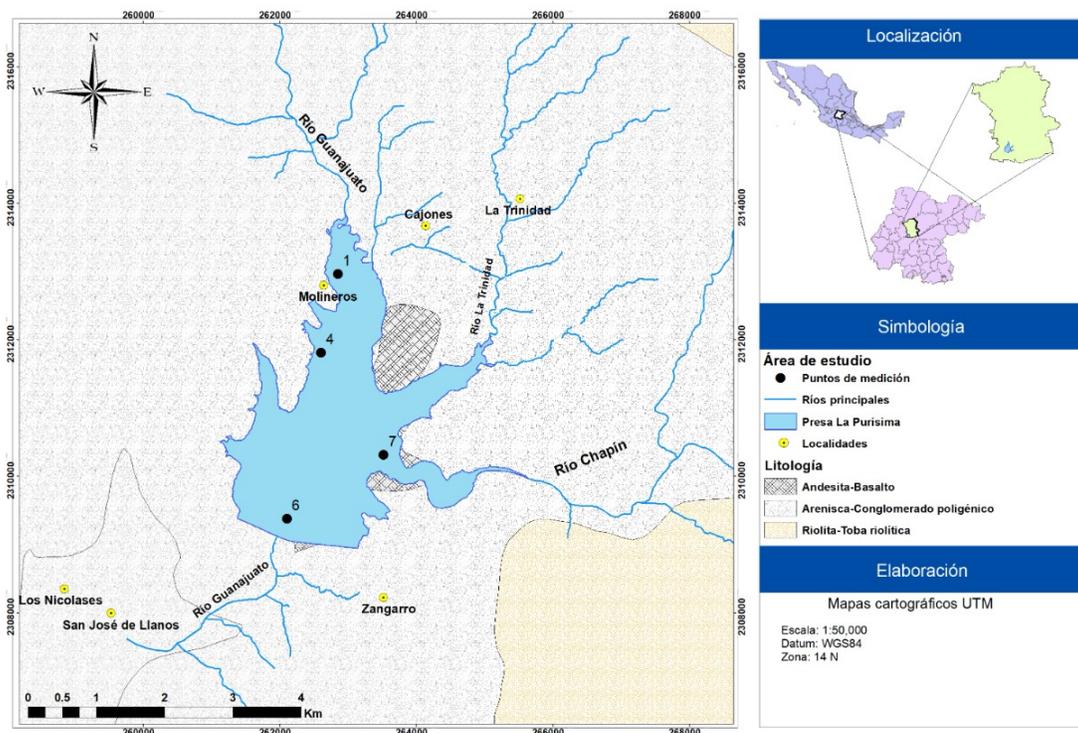


Figura 1. Ubicación de la Presa La Purísima y sitios de monitoreo. Se muestran los principales tipos de roca de la zona.

Metodología

1. Área de estudio

La presa LP (20° 53' 37" LN y 100° 29' 18" LO) se encuentra localizada al suroeste del municipio de Guanajuato (Figura 1). Este reservorio se encuentra situado en una de las zonas más pobladas del país y en una de las regiones hidrológicas más extensas del territorio nacional (Lerma-Santiago área = 132,916 km²). Una de las funciones principales de esta presa junto con otros tres reservorios en la región (Solís, Yuriria, Tepuxtepec), es suministrar agua para la irrigación de una vasta región dedicada a la agricultura (Distrito de Riego 011: 112,270 ha). La Purísima también permite la pesca local y sirve como control de avenidas para las localidades situadas a su alrededor. El cuerpo de agua recibe los afluentes de los ríos Guanajuato, Chapín y la Trinidad (Figura 1), los cuales conducen escurrimientos pluviales importantes a la presa durante la época de avenidas. El acceso al área es principalmente por la comunidad de Puentecillas y Cuevas, también por la carretera 45 por una desviación que dirige a la comunidad de San José de Llanos y se encuentra un camino hacia El Zangarro. Dentro de las principales actividades económicas de la zona se encuentran la extracción y comercialización de arena, la recreación, la agricultura, la ganadería y la pesca, principalmente para el autoconsumo y en menor medida, para su comercialización. El valor de la precipitación total anual histórica es de 612.61 mm y el de la evaporación es de 2,256.86 mm. El balance hídrico es negativo, alcanzando un valor de -1,644.25 mm.

En el año 2005, el Instituto de Ecología del estado de Guanajuato declaró el embalse de LP y su zona de influencia (2,728 ha) como Área Natural Protegida (ANP), orientada principalmente al uso sostenible de los recursos naturales. En la zona se encuentran tres tipos de vegetación: bosque tropical caducifólio, vegetación acuática y subacuática y matorral xerófilo. Existen 215 especies de fauna con 43 especies con alguna categoría de riesgo y/o endémica, y 137 especies de flora con 2 especies en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

2. Medición de parámetros *in-situ* y cálculo del estado trófico

La determinación de los parámetros *in-situ* se llevó a cabo el día 29 de junio de 2022. Se midieron el pH, el OD, la T y los SDT en 4 sitios de monitoreo (1, 4, 7 y 6: Figura 1), a los 0.2 m, a los 0.5 m y posteriormente cada 1.0 m. La menor profundidad la tuvo el sitio 1 (2.5 m) y la mayor profundidad el sitio 6 (20 m). Las mediciones de los parámetros *in-situ* fueron realizadas con un equipo multiparamétrico HANNA HI9829. Se siguieron las normas nacionales para la medición de cada uno de los parámetros mencionados.

Los datos obtenidos de los parámetros medidos en campo fueron comparados con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por la normatividad nacional en cuanto a la PVA y riego agrícola (CONAGUA, 2021).

Posteriormente, se midió la transparencia del agua con un DS (m) en cada uno de los sitios de monitoreo. Para calcular el IET se siguió la Ecuación (1), propuesta por Carlson (1977). Los valores obtenidos se clasificaron de acuerdo a los siguientes estados de eutrofización: oligotrófico (IET < 40), mesotrófico (IET > 40 - < 50), eutrófico (TSI > 50 - < 70) e hipereutrófico (IET > 70).

$$IET_{DS} = 60 - 14.41 \ln(Ds) \quad (1)$$

Resultados y discusión

El pH es una variable importante en la evaluación de la calidad del agua ya que influye en muchos procesos químicos y biológicos dentro de un cuerpo de agua. El pH, a una determinada temperatura, indica la intensidad del carácter ácido o básico de una solución, el cual está controlado fundamentalmente por los compuestos químicos disueltos y los procesos bioquímicos y geoquímicos que ocurren en la solución. El pH está controlado por el balance entre los iones dióxido de carbono, carbonatos y bicarbonatos como así también por otros compuestos orgánicos (ácidos húmicos y fúlvicos). En la Figura 2 se muestran los datos del pH medidos en los distintos sitios en la presa. El agua de la presa LP resultó alcalina en superficie con una tendencia decreciente en profundidad. Los valores más altos de pH se encontraron en la zona de transición y lacustre. Los valores de pH a 0.2 m variaron entre 8.68 (sitio 1) y 8.91 (sitio 7). En cambio, los valores más bajos de pH se encontraron a 2.0 m de profundidad en el sitio 1 (6.98: próximo a la descarga del río

Guanajuato). Este resultado podría asociarse a la descarga de efluentes por parte del río Guanajuato y a los procesos de descomposición de la materia orgánica. En cambio, los valores superficiales más altos de pH de los sitios 6 y 7 se relacionan con los procesos de fotosíntesis que desarrollan las comunidades fitoplanctónicas en la presa, lo que ocasiona que se incremente el pH y los valores de OD en el epilimnium.

El 55% de los datos obtenidos supera el LMP para la PVA (pH= 8.5). En cuanto al LMP para riego agrícola (pH= 9.0), el 4.25% sobrepasó el límite fijado por la norma nacional. Todos los valores de pH se encontraron por arriba del límite mínimo establecido por la normatividad para la PVA y el riego agrícola (pH= 6.5).

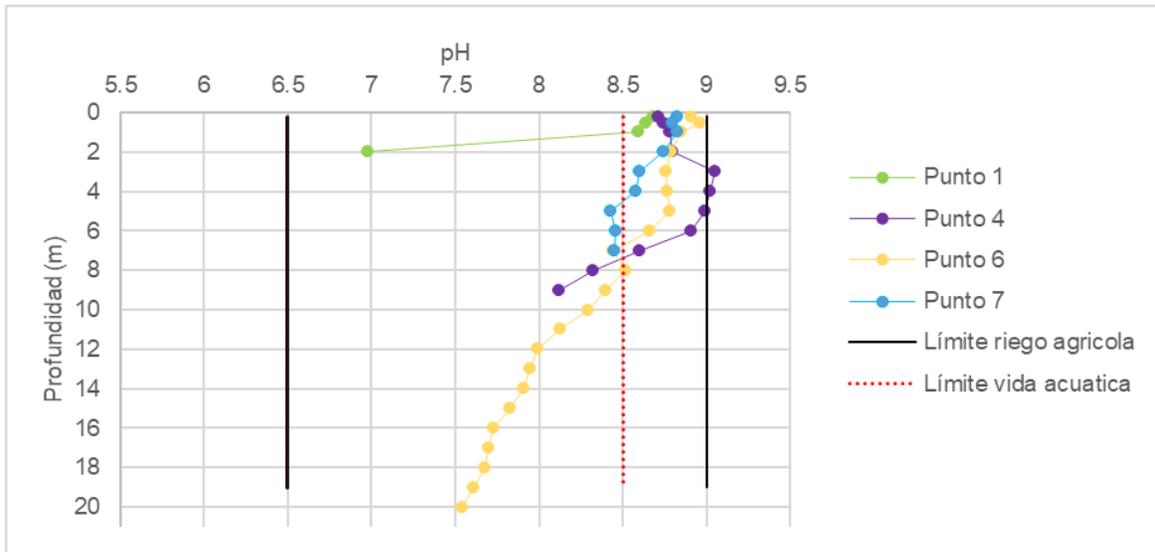


Figura 2. Variación vertical del pH en los sitios de monitoreo en la presa La Purísima. Se muestran los límites máximos permisibles para riego agrícola y protección de la vida acuática.

Para el caso del OD (Figura 3), los valores en el epilimnium variaron entre 5.87 y 11.10 ppm. En superficie, todos los valores cumplieron con la norma nacional para la PVA. La curva del OD mostró una clara tendencia decreciente con la profundidad, alcanzando valores mínimos de 1.10 ppm a los 2.0 m de profundidad (sitio 1) y 0.93 ppm a los 20 m de profundidad (sitio 6). El sitio 6 a partir de los 7.0 m presentó un valor de OD de 3.24 ppm, lo que indica que a esa profundidad no se alcanzó el mínimo para la PVA. Asimismo, esto indica un cambio en el perfil vertical del OD en la presa, y el paso a condiciones hipóxicas y anóxicas. En el sitio 7, el OD a los 3.0 m de profundidad no cumplió con el límite mínimo de la norma nacional para la PVA. En términos generales, el 51.06% de los datos de OD no cumplieron con el límite mínimo para la PVA (5.0 ppm).

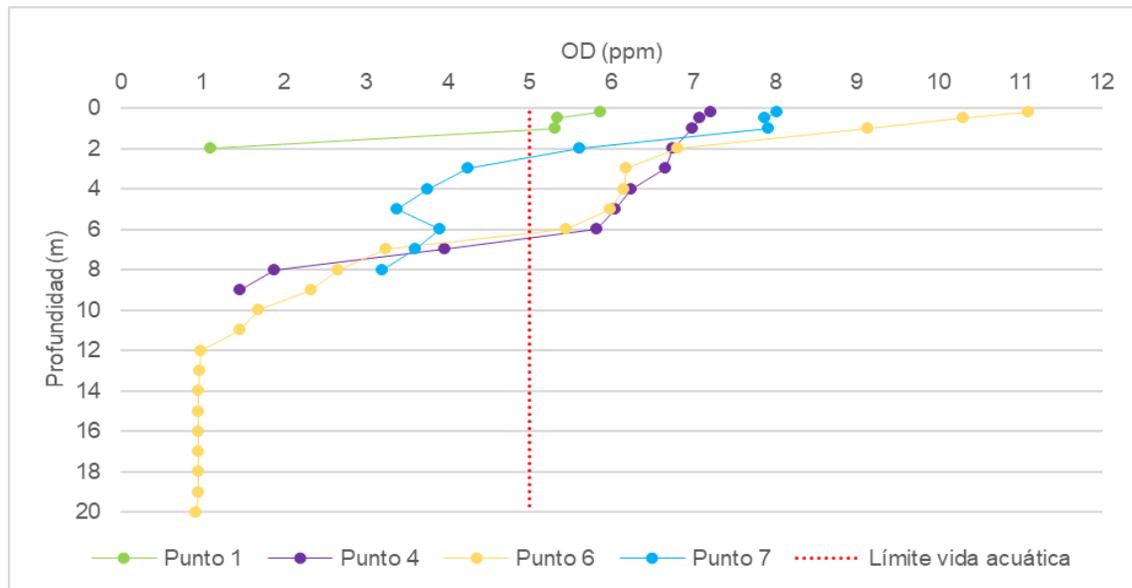


Figura 3. Variación vertical del oxígeno disuelto (OD) en los sitios de monitoreo en la presa La Purísima. Se muestran los límites máximos permisibles para riego agrícola y protección de la vida acuática.

El OD es fundamental para la vida de los peces, plantas, algas, y otros organismos; es por eso que se considera un indicador de la capacidad del cuerpo de agua para mantener la vida acuática, el cual se absorbe de la superficie o es resultado de la actividad fotosintética ocurrido en el interior de los cuerpos de agua. El hecho de que disminuya la concentración de OD con respecto a la profundidad se debe a que entre mayor sea la profundidad de un cuerpo de agua, el proceso de fotosíntesis ocurre con menor frecuencia ya que la luz del Sol está limitada a los primeros 6 m de los sistemas lacustres. Además de este proceso natural de disminución del OD con la profundidad, hay que sumarle el nivel de eutrofización que presenta la presa LP, lo cual hace intensificar el consumo de OD en sus aguas profundas. Un estudio de Chaparro et al. (2020) encontraron pirita framboidal autigénica (FeS₂) a los 22 m de profundidad en la presa LP, lo que indica la presencia de bacterias sulfato-reductoras y condiciones anóxicas que contribuyen a la precipitación biogénica del mineral.

Según Roldán-Pérez y Ramírez-Restrepo (2008), los lagos en regiones tropicales están sometidos a un régimen de temperaturas que varía muy poco en promedio a lo largo del año, pero sí con la altitud, por lo que se habla de lagos de aguas cálidas, templadas y frías. En el caso de la presa LP, se encontraría en un piso templado o premontano, que va de 1.000 a 2.000 m s.n.m., con temperaturas que varían a lo largo del año entre 17.5 y 24.0 °C. En este tipo de lagos, la temperatura y la radiación solar son muy importantes en la producción primaria. A inicios de primavera en donde se dan los aumentos de temperatura y luz, se produce un aumento del fitoplancton (conocido como florecimiento de fitoplancton de primavera), que aprovechan la disponibilidad de nutrientes existentes, especialmente en las zonas cercanas a las orillas que reciben las mayores descargas. En el sitio 7 se registró la T más alta con 22.4 °C y la T más baja se presentó en el sitio 6 con 19.24 °C (Figura 4). La T, al igual que el OD, es un parámetro que se ve afectado por la profundidad en un sistema lacustre, ya que ésta desciende con respecto a la profundidad, por lo tanto, es más cálida en la superficie. Ésta también varía dependiendo de la estación del año y el ciclo de variación diario, e incide en la solubilidad del oxígeno en el agua.

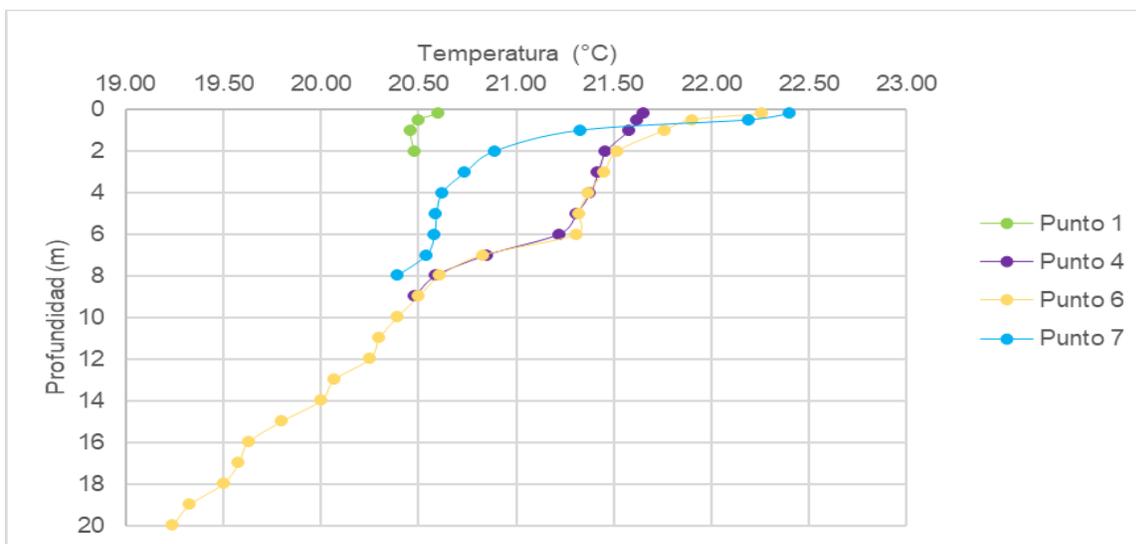
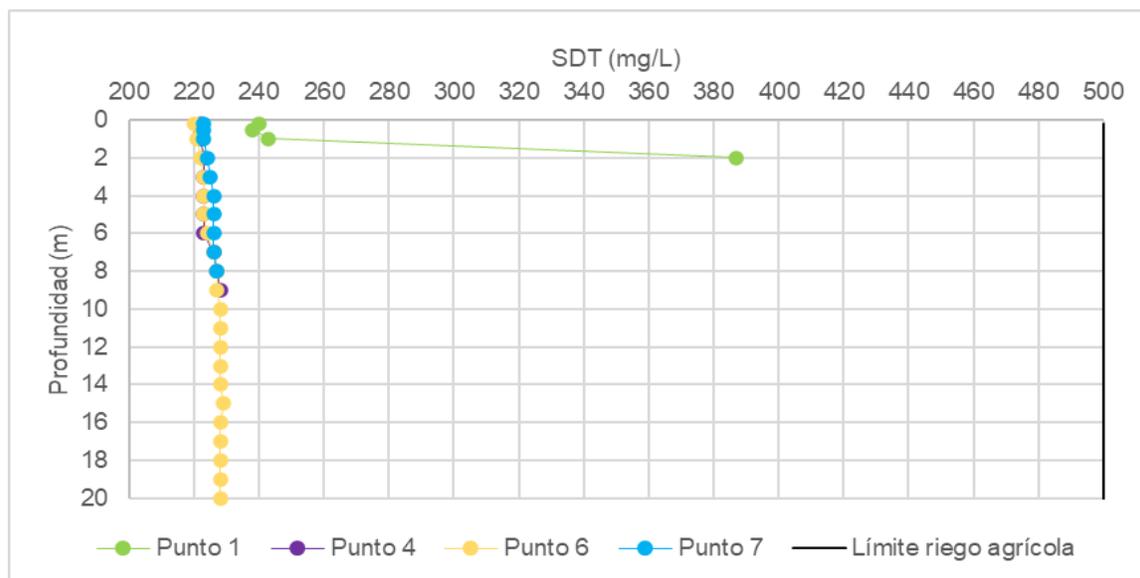


Figura 4. Variación vertical de la temperatura en los sitios de monitoreo en la presa La Purísima.

Para el parámetro de SDT (Figura 5), se observa que los valores resultaron casi constantes en todos los sitios de monitoreo. Los valores obtenidos en todos los sitios resultaron por debajo del LMP para riego agrícola



(500 mg/L). Se encontró un valor anómalo de SDT a los 2.0 m de profundidad en el sitio 1. Esto puede ser debido a la descarga de aguas residuales (domésticas y urbanas) provenientes del río Guanajuato, lo que hace aumentar el valor de SDT. La variable SDT nos indica la presencia de sales minerales, metales y cualquier otro compuesto orgánico o inorgánico que se encuentre disuelto en el agua, por lo tanto, es un indicador importante de la calidad del agua.

Figura 5. Variación vertical de los SDT en los sitios de monitoreo en la presa La Purísima.

El IET tiene como finalidad evaluar la productividad biológica de los cuerpos de agua (Wetzel, 2001). De acuerdo con el cálculo de los IET en los sitios de monitoreo, todos los puntos muestreados en el interior de la presa obtuvieron una categoría "Eutrófica" (Figura 6).

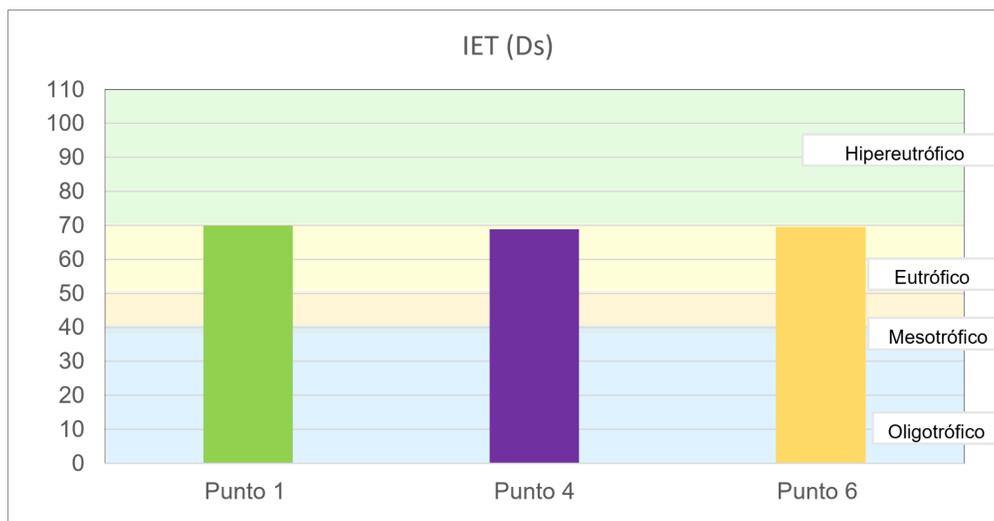


Figura 6. Clases de IET_{Ds} obtenidos en los sitios de monitoreo en la presa La Purísima.

El nitrógeno (N) y el fósforo (P) constituyen los dos elementos más importantes para la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos (Khan y Mohammad, 2013). Estos nutrientes entran naturalmente en los cuerpos de agua desde fuentes como el drenaje terrestre y el agua subterránea. Sin embargo, las actividades humanas pueden acelerar en gran medida la tasa de aporte del P y N, y esto se conoce como eutrofización cultural. Según Smol (2008), las fuentes antropogénicas incluyen aguas residuales no tratadas, efluentes municipales e industriales (fuentes puntuales), así como fuentes difusas (por ejemplo, escorrentía de fertilizantes usados en la agricultura).

El nivel eutrófico obtenido en la presa LP es debido a las descargas de aguas residuales municipales e industriales que entran por el río Guanajuato, incluyendo los lixiviados de los vertederos de residuos y los vertederos sanitarios. En las zonas rurales y suburbanas, el uso de fertilizantes inorgánicos a base de nitratos puede ser una fuente importante de nutrientes (Chapman, 1996).

Conclusiones

- Según los parámetros analizados, el agua de la presa LP es apta para riego agrícola.
- En la capa superficial, el OD cumple con los límites mínimos fijados por la normatividad nacional para la protección de la vida acuática.
- Aguas anóxicas en profundidad y en los sitios ribereños, limitan la aptitud del agua de la presa para la protección de la vida acuática.
- La calidad del agua de la presa se encuentra afectada por su estado eutrófico.
- Es necesario tomar acciones con un enfoque multisectorial para la protección de la presa LP.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad de Guanajuato por las becas otorgadas a C.A.E.G., A.S.G.G., A.S.G.A., R.G.R.C., P.S.R., y D.Z.U. A la Universidad de Guanajuato por impulsar las vocaciones científicas.

Referencias

- Cano, R. I., Gómez, V. F., Aguilera, A. F., Rosa, G. de la., Gardea, Torresdey, J. (2004). Transporte y destino final de fósforo en el acuífero de puentecillas de Guanajuato. *Revista Mexicana de Ingeniería Química, UAM*, 3 (2): 201-208.
- Carlson, R.E. (1977). A Trophic State Index for Lakes. *Limnology and Oceanography - LIMNOL OCEANOGR.* 22, 361-369.
- Carrillo-Chávez, A., Morton-Bermea, O., González-Partida, E., Rivas-Solorzano, H., Oesler, G., García-Meza, V., Hernández, E., Morales, P., Cienfuegos, E. (2003). Environmental geochemistry of the Guanajuato Mining District, Mexico. *Ore Geology Reviews*, 23, 277-297.
- Chaparro, M.A.E., Ramírez-Ramírez, M., Chaparro, M.A.E., Miranda-Avilés, R., Puy-Alquiza, M.J., Böhnell, H.N., Zanon, G.A. (2020). Magnetic parameters as proxies for anthropogenic pollution in water reservoir sediments from Mexico: an interdisciplinary approach. *Science of the Total Environment*, 700, 1-14.
- Chapman D., Kimstach V. (1996). Selection of water quality variables. En: *Water Quality Assessments* (Ed. D. Chapman). E & FN SPON, London and New York.
- Cohen, A.S. (2003). *Paleolimnology: The history and evolution of lake systems*. Oxford University Press, New York.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), (2021). *Ley Federal de Derechos, Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2021*. Diario Oficial de la Federación. México, D.F. 11 de noviembre de 2021
- Khan, M., Mohammad, F. (2014). Eutrophication: Challenges and Solutions, in: Ansari, A.A., Gill, S.S. (Eds.), *Eutrophication: Causes, Consequences and Control*, Springer, Dordrecht, pp. 1-15.
- Lecomte, K.L., Pasquini, A.I., Manjarrez-Rangel, C.S. et al. (2022). Surface hydrochemical dynamic in an artificial lake with anthropic impact: La Purísima reservoir, Central Mexico. *Environ Monit Assess* 194, 128.
- Miranda, A.R., Puy, A.M., Caudillo, G.M. (2009). Evidencias estratigráficas y geoquímicas de la variación temporal de sedimentos naturales y antropogénicos en la planicie aluvial del río Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, (26)3, 564-574.
- Roldán Pérez, G., Ramírez Restrepo, J.J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (Vol. 15). Universidad de Antioquia., Colombia.
- Smol, J.P. (2008). *Pollution of Lakes and Rivers: A Paleoenvironmental Perspective*. Oxford University Press Inc., New York.
- Wetzel, R.G. (2001). *Limnology. Lake and River Ecosystems*. New York. Academic Press.
- Wu, Z., Wang, X. Chen, Y., Cai, Y., Deng, J. (2018). Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of the Total Environment*, 612, 914-922.
- Zhao, C.S., Shao, N.F., Yang, S.T., Rend, H., Ge, Y.R., Zhang, Z.S., Feng, P., Liu, W.L. (2019). Quantitative assessment of the effects of human activities on phytoplankton communities in lakes and reservoirs. *Science of the Total Environment*, 665, 213-225.