

EVALUACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL AGUA EN EL LAGO DE YURIRIA

Daniela Muñoz Contreras¹, Rosa Susana Ortiz Castillo¹, Rogelio Costilla Salazar¹, Israel Castro Ramírez¹.

¹ licenciatura 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.

d.munozcontreras@ugto.mx¹, rs.ortizcastillo@ugto.mx¹, costilla@ugto.mx¹, i.castro@ugto.mx¹.

Resumen

La cuenca Lerma-Chapala presenta un reto en mejorar la calidad de agua por sus altos índices de contaminación, a esta cuenca pertenece el lago de Yuriria. El objetivo principal de este proyecto es evaluar la calidad del agua de la Laguna de Yuriria mediante el análisis de parámetros físicos y químicos, para determinar el índice de calidad de agua (ICA) esto representado en un análisis geoespacial de contaminación para vislumbrar las zonas del cuerpo de agua más impactado por algún parámetro físico químico. Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en el área de la laguna son muy bajos lo que pone en riesgo la preservación para la vida acuática del lugar. La demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en la normatividad para descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Es importante tomar medidas en las descargas de aguas residuales provenientes de las plantas de tratamiento, pues, aunque ciertos parámetros están dentro de los límites permisibles, existen otros parámetros que no cumplen con la normativa nacional tal es el caso del parámetro amoniacal.

Palabras clave: Evaluación, contaminación, parámetros fisicoquímicos, calidad del agua, geoespacial, límites máximos permisibles,

Introducción

El elemento considerado más importante del medio ambiente es el agua debido a que es esencial para regular el estado de salud en humanos y en el resto de la biota. Actualmente los cuerpos de agua superficiales han presentado variaciones en la calidad del agua y esto es resultado de la combinación de procesos naturales (meteorización y erosión de suelos) y actividades antropogénicas (eliminación de desechos municipales e industriales), siendo estos últimos los que muestran una mayor afectación¹.

Con la calidad de agua se ha permitido evidenciar los factores o agentes que causan contaminación del agua, dichos factores son: agentes patógenos, desechos que requieren oxígeno, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, nutrientes vegetales que ocasionan crecimiento excesivo de plantas acuáticas, sedimentos o material suspendido². Para conocer más sobre la calidad del agua se han realizado varios estudios, pero el seguimiento de cada cuerpo de agua es continuo, creando matrices de datos grandes y complejas compuestas por un gran número de parámetros fisicoquímicos que son difíciles de interpretar³. Son necesarias herramientas que permitan una fácil interpretación sobre la calidad del agua para poder comunicar a la sociedad el estado ecológico de la región de estudio. Con este fin se han creado una serie de índices de Calidad del Agua (ICA) ya que se ha demostrado ser una herramienta simple para evaluación del recurso hídrico y fundamental para darle seguimiento a su impacto en el proceso de la formulación de políticas. De otra manera ICA se define como una representación simple de una combinación compleja de una serie de parámetros que sirven como representaciones de la calidad del agua. Los índices se pueden representar mediante números, rangos, descripciones verbales, símbolos e incluso colores⁴. Con un análisis geoespacial se manipula información espacial para extraer información nueva y significativa a partir de los datos originales. Usualmente el análisis se realiza con un Sistema de Información Geográfica (SIG). En el método de Interpolación Inversa Ponderada (IDW) los puntos de determinada muestra se ponderan para que la influencia de un punto en relación con otro vaya disminuyendo a medida que aumenta la distancia desde el punto desconocido que se desea crear⁵.

La cuenca Lerma-Chapala presenta un reto en mejorar la calidad de agua por sus altos índices de contaminación, a esta cuenca pertenece el lago de Yuriria, que de acuerdo con la ley estatal de Guanajuato

para la protección y preservación del medio ambiente fue designado como una Área Natural Protegida (ANP) en la categoría de restauración ecológica en el año 2001. Posteriormente en 2004 fue declarada un sitio Ramsar por ser una de las redes de humedales que albergan especies vulnerables y una comunidad de aves acuáticas residentes y migratorias⁶. El lago de Yuriria fue construido en 1552, y una de sus problemáticas es que recibe las aguas residuales de las localidades vecinas y del mismo municipio de Yuriria. Con base en la importancia que el lago constituye para la región y los beneficios que aporta, el gobierno del estado de Guanajuato ha trabajado constantemente para la restauración y el saneamiento del agua y mejoramiento de su calidad³. En el presente estudio se proyectan 17 parámetros obtenidos de los análisis realizados a un total de 13 muestras tomadas de 13 puntos diferentes georreferenciados en el área del lago de Yuriria, esto con la finalidad de presentar el índice de la calidad actual del agua que almacena dicho lago.

Metodología

Área de estudio

El presente estudio se realizó en el lago de Yuriria, Guanajuato, México., éste se encuentra localizado en las coordenadas 20°13'00"- 20°17'20"N y 101°12'30"101°03'35"O, dentro de la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, a una altitud de 1740 msnm (figura 3). Es un lago superficial de un área de 6000 hectáreas, una profundidad promedio de 3.2 metros, y es la primera obra hidráulica construida en América. Su principal entrada de agua proviene del río Lerma y el canal La Cinta proveniente del lago de Cuitzeo³. Para el presente proyecto se tomaron muestras de 13 puntos de muestreo (figura 2).

SITIO DE ESTUDIO

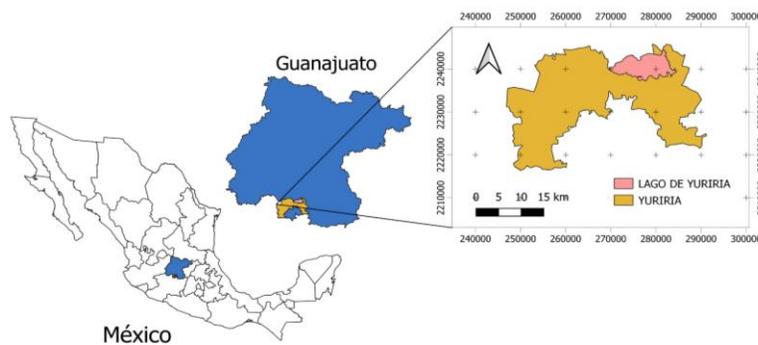


Figura 1. Sitio de estudio.

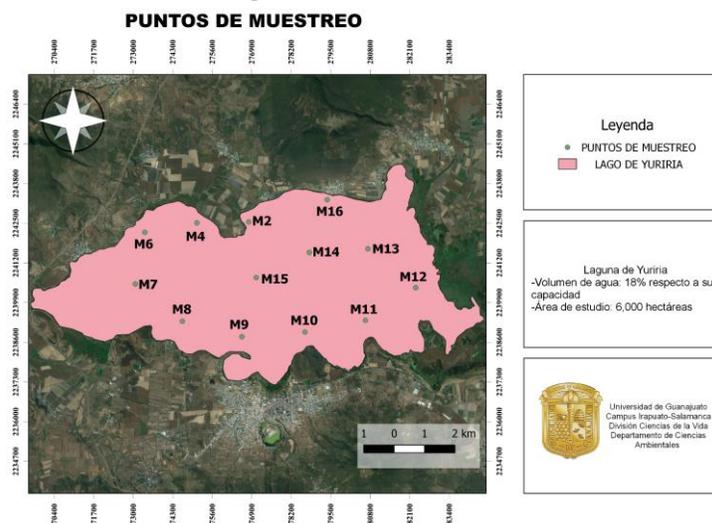


Figura 2. Puntos de muestreo

Muestreo y análisis de parámetros fisicoquímicos

Se midieron parámetros in situ en cada uno de los puntos de monitoreo los cuales fueron profundidad (m), temperatura (°C), pH, conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y sólidos disueltos totales (SDT) en mg/L, éstos se analizaron con un potenciómetro portátil marca HANNA. Por su parte, el oxígeno disuelto (OD) en mg/L se analizó con la ayuda de un medidor de oxígeno disuelto marca HANNA HI 9146. En el laboratorio se determinaron por triplicado las concentraciones de nitrógeno amoniacal (mg/L), mediante un espectrofotómetro UV-VIS 2505. La medición de la concentración se realiza con el espectrofotómetro a una longitud de onda de 620 nm, con base en la adaptación del Manual ASTM de Tecnología de Agua y Medio Ambiente, D1426-92, método de Nessler. La reacción entre el amoníaco y los reactivos provoca un tinte amarillo en las muestras, las cuales fueron de 10 mL.

Por otro lado, el análisis de color del agua se realizó con base en la norma mexicana NMX-AA-017-SCFI-2021⁷, el método se basa en la medición del color verdadero y/o aparente en una muestra de agua natural. El color verdadero es el color de la muestra debido a sustancias en forma disuelta, se mide en la muestra una vez que se eliminan los sólidos suspendidos y pseudo coloidales para ello la muestra es filtrada. A las muestras se les midió la absorbancia en el espectrofotómetro UV-VIS 2505 representando los resultados como coeficiente de absorción espectral λ a 620 nm (m^{-1}). Por su parte, la medición de los sólidos totales (ST), se realizó con base a la norma mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015⁸. Los sólidos totales son el residuo que permanece en una cápsula después de evaporar y secar una muestra a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$., este parámetro se reporta en mg/L. Respecto a la dureza, su análisis se realizó con base en la norma mexicana NMX-AA-072-2001⁹. La cuantificación de los mg/L de carbonatos de calcio (CaCO_3) se realizó mediante el método titulométrico con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y empleando el indicador negro de eriocromo T. La medición de la alcalinidad y acidez total en mg/L de CaCO_3 , se realizó conforme a lo que establece la norma mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001¹⁰. Se empleó como agente titulante al ácido sulfúrico 0.02 N, así como los indicadores fenolftaleína y naranja de metilo.

La determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en mg/L, se realizó con base en el método establecido por la norma mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001¹¹. Para el análisis de DQO se utilizó el kit de la marca Hanna, que se basa en el método colorimétrico cerrado bien establecido de dicromato-reflujo. Se agrega la muestra al vial de reactivo y se digiere en condiciones de reflujo cerrado, se deja enfriar antes de tomar la medición de absorbancia en el espectrofotómetro UV-VIS 2505.

Cuantificación del ICA

El ICA se define como el grado de contaminación existente en el agua a la fecha de muestreo, expresado como un porcentaje de agua pura, así el agua contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0% y de 100% para el agua en excelentes condiciones¹². El cálculo del ICA se realiza aplicando la ecuación:

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Figura 3. Fórmula del ICA.

Dónde: ICA = índice de calidad de agua global, I_i =índice de calidad para el parámetro (i), W_i = Coeficiente de ponderación del parámetro (i), n =Número total de parámetros¹².

Como primera parte se aplicaron las fórmulas del método para cada parámetro que se calculó y que entra dentro de la clasificación de ICA, se procede a sacar un promedio de todas las muestras para así calcular el índice de calidad (I). Posterior a esto a cada uno de los parámetros se les asigna un coeficiente de ponderación para aplicar la fórmula y obtener el ICA, se realiza la evaluación de nuestra calidad de Agua y de acuerdo con el porcentaje total se clasifica en qué rango de contaminación se encuentra.

Análisis geoespacial de contaminación

Distancia Inversa Ponderada (IDW)

Para el análisis geoespacial de contaminación se utilizó la aplicación de QGIS versión 3.16, aquí se implementó el método de interpolación IDW, donde los puntos de muestra se ponderan durante la interpolación de modo que la influencia de un punto en relación con otro disminuye con la distancia. En este caso se geolocalizaron 13 puntos de muestreo de los cuales se tomaron las coordenadas con un GPS. La ponderación es asignada a los puntos de muestreo mediante la utilización de un coeficiente de ponderación, que controla cómo la influencia de la ponderación decae mientras la distancia hacia el punto nuevo se incrementa. Conforme el coeficiente se incrementa, el valor de los puntos desconocidos se aproxima al valor del punto de observación más cercano representando así los resultados de los análisis realizados en el área deseada que para este fin es la del lago de Yuriria ⁵.

Resultados y discusión

Al compararse los datos medidos del pH y temperatura en los sitios de muestreo del lago con respecto a los límites para el uso del agua en Riego Agrícola y para la Protección a la vida acuática en agua dulce y humedales que se establecen en la Ley Federal de Derechos, Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales 2021¹³, que indica un rango entre 6.0-9.0 y 6.0-8.5 respectivamente, se observó que todas las muestras cumplen con esta ley. Así mismo la temperatura no supera los 40°C, límite máximo permisible establecido en la misma ley. En cuanto el parámetro de alcalinidad, el valor más bajo que se obtiene es de 4.27 y el más alto de 19.20, encontrándose dentro de los límites permisibles (400 mg/L de CaCO₃) que indica la Ley anteriormente mencionada.

La CE en el lago mostró algunas variaciones significativas, aunque la mayoría de los valores resultaron muy similares entre sí. Según el lineamiento nacional, el agua para riego agrícola no debe superar el valor límite de conductividad eléctrica (CE) 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el lago, todas las muestras superan el límite levemente a excepción de las muestras 11, 13 y 16 que exceden el límite con un poco más del doble de lo establecido. Los factores que influyen en los altos contenidos de sales en el cuerpo de agua se relacionan con el aporte de las escorrentías agrícolas debido al uso de agroquímicos que contienen sales de potasio, sulfatos, etc. En la figura 4 se representa la interpolación de los resultados mostrándonos de color rojo el área de la laguna más afectada por este parámetro.

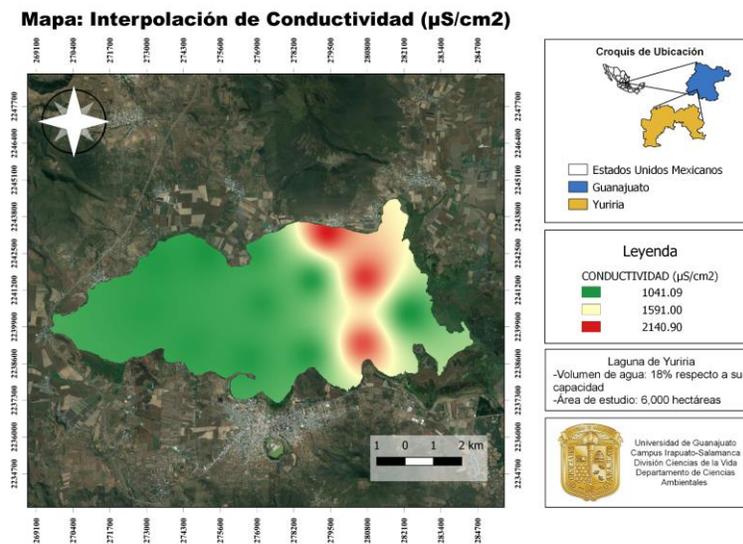


Figura 4. Interpolación de conductividad

En general, los cuerpos de agua (lagos y reservorios artificiales) presentan valores de OD en un rango de 6-13 mg/L¹⁴. La Ley Federal de Derechos, Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales¹³, señala que para la Preservación de Vida Acuática en cuerpos de aguas dulces y humedales se debe contar con un mínimo de 5.0 mg/L de OD. Las muestras M2 Y M15 no alcanzaron el límite mínimo. Por otro lado, las concentraciones de OD del resto de las muestras sobrepasaron el valor mínimo, esto indica que en el lago pueden existir condiciones hipóxicas, las cuales generarían zonas muertas acuáticas especialmente a mayores profundidades en las áreas de muestreo donde el OD no se encuentra dentro del límite mínimo. El

agotamiento del OD en el cuerpo de agua se asocia como una de las consecuencias del proceso de eutrofización, producido por el enriquecimiento de nutrientes como el fósforo (P) y nitrógeno (N). En el siguiente mapa de interpolación (figura 5) se muestra en color verde las zonas con valores bajos de oxígeno disuelto (OD). Esto afecta principalmente a pescadores y aves que dependen de los peces del lago.

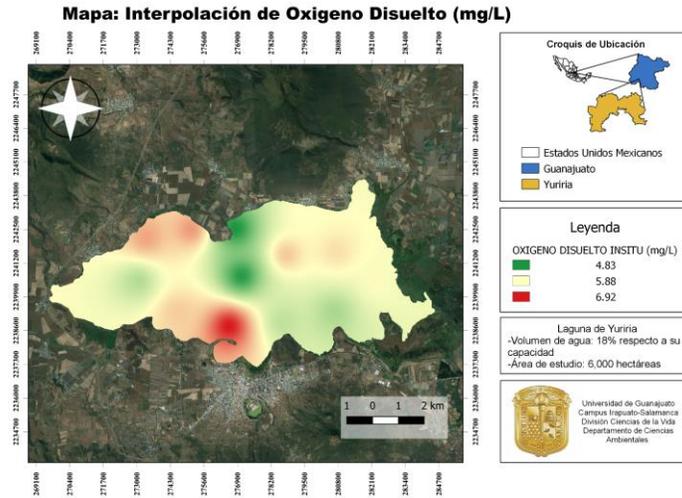


Figura 5. Interpolación de Oxígeno Disuelto

Respecto a los Sólidos Totales (ST) los valores encontrados en la presente investigación incumplen con LMP (550 mg/L) que la normativa indica, los resultados indican el valor as bajo de 880 mg/L y encontrando tres puntos de muestreo con valor de 3 veces el LMP, lo que lo convierte en puntos de interés. El alto contenido de materia orgánica dentro de la laguna nos permite observar que el lago tiene un gran impacto por las descargas de aguas residuales crudas de las localidades que están alrededor y del mismo municipio. Otro factor que influye en el alto contenido de ST es a la hidrodinámica del canal de conducción que promueve la resuspensión de sedimentos y el movimiento propio del agua evita el asentamiento de material en suspensión que es arrastrado desde otras zonas de la cuenca de captación¹⁵. En la figura 6 se muestra la interpolación de los resultados, la coloración verde es la zona con valores numéricos mas bajos pero que superan los LMP de la normativa nacional.

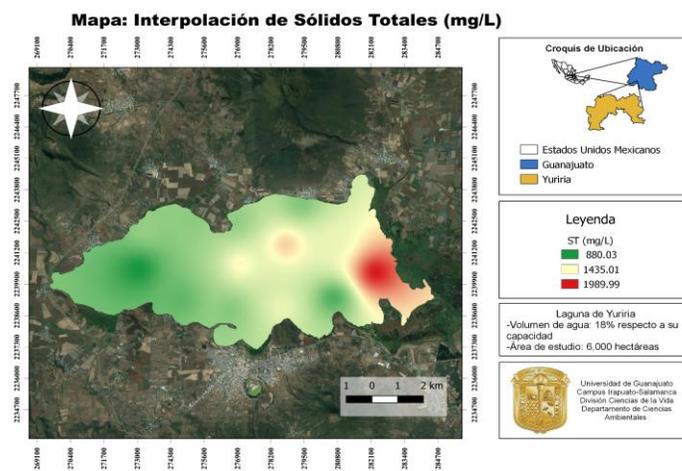


Figura 6. Interpolación de Sólidos Totales

Los Sólidos Disueltos Totales (SDT) de acuerdo con La Ley Federal de Derechos, Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacional¹³, ninguna muestra cumple con los LMP establecidos para la protección a la vida acuática (50 mg/L), todas las muestras resultaron con valores superiores. Se puede deducir que existe elevadas concentraciones de sales inorgánicas en el lago provocando un gran contenido de SDT, esto puede deberse a fuentes naturales, los residuos naturales, la escorrentía urbana y los residuos municipales¹⁵. En la figura 7 Se muestra la interpolación de los SDT, aunque ninguno entre en los LMP, el color verde se tomó para el valor más bajo (521 mg/L) y el rojo para el más alto (582 mg/L).

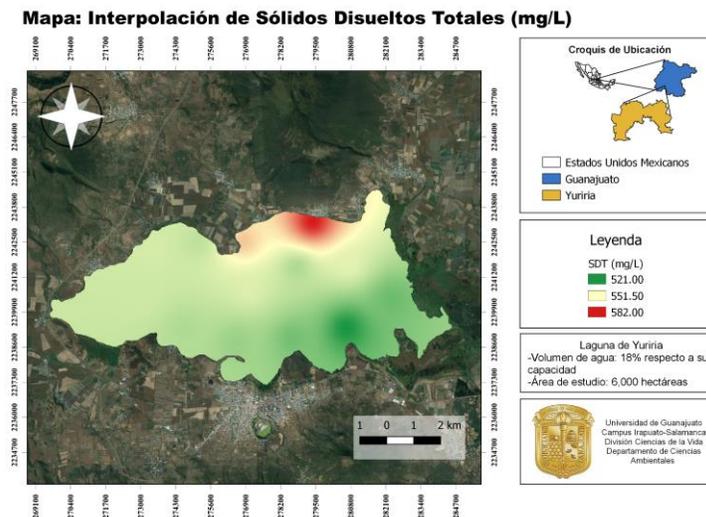


Figura 7. Interpolación de sólidos disueltos totales.

La Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) establece en la NOM-001-SEMARNAT-2021¹⁶, los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales. Se utiliza la NOM como referencia comparativa para color verdadero pues los límites deberían cumplir con lo establecido para así asegurar que las descargas de aguas provenientes de las plantas de tratamiento cumplen con esta norma como lo dicta la Ley. Este parámetro se representa como coeficiente de absorción espectral en longitudes de onda de 436, 535 y 620 nm. Para este proyecto se analizan los resultados a una longitud de onda de 620 nm los cuales según la NOM no deberían superar el coeficiente de absorción espectral máximo de 3 m⁻¹, sin embargo, todas las muestras analizadas superan este límite. Aunque este parámetro no cumple con la normatividad en la figura 8 se representan las áreas en rojo y amarillo como las más delicadas y en verde como las que sobrepasan los límites en menor medida.

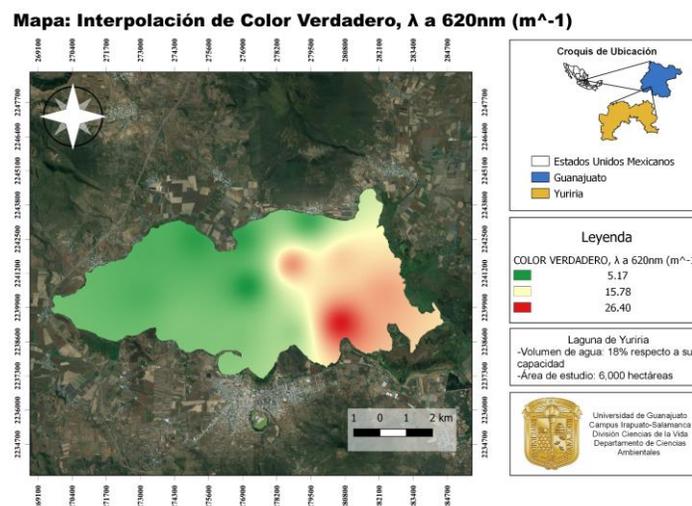


Figura 8. interpolación de Color verdadero

no se deben superar los 500 mg/L de CaCO_3 de acuerdo con el parámetro de dureza. Los resultados de nuestros análisis están dentro de este LMP, la muestra con mayor cantidad de mg/L de CaCO_3 es la M2 con 302 mg/L y la menor es la M16 con 246 mg/L de CaCO_3 . Para el análisis de interpolación, aunque los valores no exceden los LMP se representan los valores más altos en color rojo al ser estos tan pocos, los colores abarcan más el verde y amarillo.

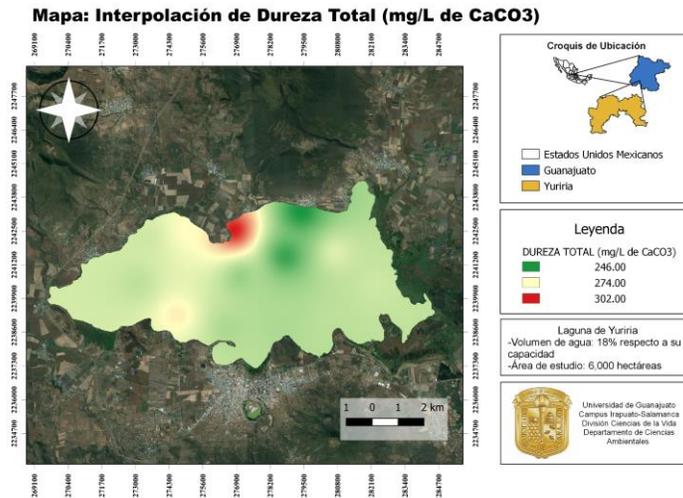


Figura 11. Interpolación de Dureza total

Para el nitrógeno amoniacal ningún valor de todas las muestras, (5.47-28.44 mg/L), está dentro de los LMP que La Ley Federal de Derechos, Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales¹³ señala que para la Preservación de Vida Acuática en cuerpos de agua y humedales no deben superarse 0.006 mg/L. Al no encontrarse los valores dentro de los LMP se puede decir que las descargas de aguas residuales están favoreciendo con nutrientes al lago para el crecimiento del lirio acuático. En la figura 12 se muestra la interpolación y aunque ningún valor está dentro de lo que indica la Ley, el color verde representa el valor más bajo obtenido y el color rojo el valor más alto es decir el mas afectado.

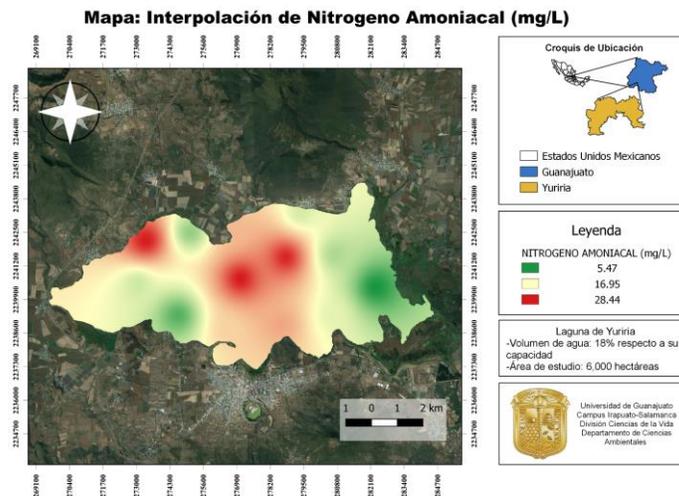


Figura 12. Interpolación de Nitrógeno amoniacal

Indicador de Calidad Ambiental (ICA)

Nombre	Valor del índice (I)	Peso (Wi)
PH	76.39	1
Conductividad eléctrica	36.47	2
Oxígeno	67.98	5
Disueltos Totales	99.57	0.5
Alcalinidad	69.25	1
DBO5	31.76	5
Dureza	32.31	1
Nitrógeno	17.93	2
SUMA =	431.67	17.5
ICA = 431.67/17.5=	24.66687	

Tabla 1. Índice de Calidad del Agua (ICA) por cada parámetro

Muestra	Valor del Índice (I)	Peso (Wi)	ICA
2	446.551	17.5	25.517
4	421.307	17.5	24.075
6	429.773	17.5	24.558
7	439.407	17.5	25.109
8	496.991	17.5	28.399
9	452.933	17.5	25.882
10	487.659	17.5	27.866
11	423.593	17.5	24.205
12	415.571	17.5	23.747
13	406.140	17.5	23.208
14	396.161	17.5	22.638
15	391.478	17.5	22.370
16	404.149	17.5	23.094

Tabla 2. Índice de Calidad del Agua (ICA) por cada muestra

ICA	CRITERIO GENERAL
85 –100	No Contaminado
70 - 84	Aceptable
50 – 69	Poco Contaminado
30 - 49	Contaminado
0 - 29	Altamente Contaminado

Tabla 3. Rango de Clasificación del ICA de acuerdo con el criterio general

De acuerdo con el valor del ICA resultante con la evaluación de 8 parámetros, de manera general se obtiene que el agua está altamente contaminada. Cuando se realiza el análisis del ICA por cada muestra, solamente la muestra 8 es donde se obtiene el mayor valor (28.39) y aun así se considera que está altamente contaminada. El ICA es No Aceptable para la utilización del agua para la Industria y Agrícola, al igual que para la pesca y vida acuática, una parte importante a mencionar es que muchas personas se dedican a la pesca, siendo este el principal sustento de las familias.

Conclusiones

Los valores de OD, pH, alcalinidad, dureza y temperatura para los sitios muestreados en el área del lago cumplieron en todas las muestras con los límites permisibles para la protección de la vida acuática. Todas las muestras presentaron restricciones para su uso en riego agrícola debido a que los valores registrados de CE, ST, SDT y color verdadero sobrepasan los LMP de la normatividad nacional. Esto alerta sobre salinización

en el lago el cual recibe agua proveniente de descargas agrícolas y municipales además de entradas de distintos canales. El aumento de sales en los cuerpos de agua está asociado con el uso de agroquímicos y el déficit hídrico.

Los niveles de OD en el área de la laguna son muy bajos lo que pone en riesgo la preservación para la vida acuática del lugar. DBO y DQO se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en la normatividad para descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Es importante tomar medidas en las descargas de aguas residuales provenientes de las plantas de tratamiento, pues, aunque ciertos parámetros están dentro de los límites otros no, como lo es el nitrógeno amoniacal el cual sobrepasa lo establecido en la ley normativa.

Relacionando los resultados del ICA con la representación geoespacial de interpolación para el análisis de contaminación del agua, concluimos que el lago de Yuriria es un cuerpo de agua con altos niveles de contaminación por materia orgánica y fecal. Las estrategias de gestión deben enfocarse al cuidado y mantenimiento de los servicios ecosistémicos, la protección a la vida acuática y la calidad del agua para el uso en el riego agrícola. Considerando los resultados presentados por cada parámetro, es necesario que la implementación de distintas acciones para mejorar la calidad del agua provoque un mayor impacto y así se garantice la conservación del ecosistema en el lago de Yuriria.

Bibliografía/Referencias

1. Kazi, T. G., Arain, M. B., Jamali, M. K., Jalbani, N., Afridi, H. I., Sarfraz, R. A., Baig, J. A., & Shah, A. Q. (2009). Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: a case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(2), 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.02.024>
2. Bonilla, H. M., Alejo, I. F., & Márquez, L. M. A. (2015). Determinación de calidad de agua y estudio batimétrico en la presa La Purísima y la laguna de Yuriria del estado de Guanajuato. *Ugto.Mx*. Retrieved July 22, 2023. <http://repositorio.ugto.mx/bitstream/20.500.12059/3220/1/Determinaci%C3%B3n%20De%20Calidad%20De%20Agua%20Y%20Estudio%20Batimetrico%20En%20La%20Presade%20La%20Pur%C3%ADsimade%20Y%20La%20Laguna%20De%20Yuriria%20Del%20Estado%20De%20Guanajuato..pdf>
3. Espinal Carreón, T., Sedeño Díaz, J. E., and López López, E. (2013). Evaluación de la calidad del agua en la Laguna de Yuriria, Guanajuato, México, mediante técnicas multivariadas: un análisis de valoración para dos épocas 2005, 2009-2010. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(3), 147-163.
4. Torres, P., Hernán Cruz, C., & Patiño, P. J. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. *Org.Co*. <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
5. QGIS. (s. f.). Análisis espacial (Interpolación) Documentación de QGIS Documentation. https://docs.qgis.org/3.28/es/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html
6. Sandoval-Minero R. (2004). Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR). [en línea] <http://ramsar.conanp.gob.mx/documentos/fichas/48.pdf> 30/09/2012
7. Secretaría de Economía. (2021). ANÁLISIS DE AGUA-MEDICIÓN DE COLOR VERDADERO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES, RESIDUALES TRATADAS Y MARINAS-MEDICIÓN DE COEFICIENTES DE ABSORCIÓN ESPECTRAL-MÉTODO DE PRUEBA (NMX-AA-017-SCFI-2021). nNMX-AA-017-SCFI-2021.pdf (semarnat.gob.mx)
8. Secretaría de Economía. (2015). ANÁLISIS DE AGUA-MEDICIÓN DE SÓLIDOS Y SALES DISUELTAS EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS-MÉTODO DE PRUEBA (NMX-AA-034-SCFI-2015). nmx-aa-034-scfi-2015.pdf (www.gob.mx)
9. Secretaría de Economía. (2001). ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS-MÉTODO DE PRUEBA (NMX-AA-072-SCFI-2001). Microsoft Word - NMX-AA-072-SCFI-2001.doc (www.gob.mx)
10. Secretaría de Economía. (2001). ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE ACIDEZ Y ALCALINIDAD EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS-MÉTODO DE PRUEBA (NMX-AA-036-SCFI-2001). Microsoft Word - NMX-AA-036-SCFI-2001.doc (www.gob.mx)
11. Secretaría de Economía. (2001). ANÁLISIS DE AGUA-DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DB05) Y RESIDUALES TRATADAS- MÉTODO DE PRUEBA (NMX-AA-028-SCFI-2001). Microsoft Word - NMX-AA-028-SCFI-2001.doc (www.gob.mx)
12. COMPENDIO 2020. (2020.). SEMARNAT. Retrieved July 24, 2023, from https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2020/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/approot/dgeia_mce/html/RECUADROS_INT_GLOS/D3_AGUA/D3_AGUA04/D3_R_AGUA05_01.htm
13. CONAGUA. (2021.). LEY FEDERAL DE DERECHOS APLICABLES EN MATERIA DE AGUAS NACIONALES 2021. Diario Oficial de la Federación. México, Ciudad de México. 01 de octubre de 2021.

14. Wetzel, R.G. 2001. Limnology. Lake and River Ecosystems. New York. Academic Press.
15. Corro, J. F. A. (2019). Aplicación de métodos de Índices de Calidad de Agua (ICA) [Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica]. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/12169/Alarcon_cj.pdf
16. SEMARNAT. (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. *semarnat001-2022_03.pdf (itesm.mx)
17. Subsecretaría de prevención y promoción a la salud. (2021.). NOM-127-SSA1-2021, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO. LÍMITES PERMISIBLES DE LA CALIDAD DEL AGUA. Diario Oficial de la Federación. México, Ciudad de México. 01 Mayo de 2022.