



Análisis de la calidad del agua de los drenes agrícolas de la cuenca del río Culiacán en Sinaloa, México

Yaneth Alejandra Bustos-Terrones¹, Hilda Karina Ramírez-Medina², Bladimir Montoya-Rodríguez²

¹División de Estudios de Posgrado e Investigación y ²CONACYT-División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Culiacán.

*autordecorrespondencia@mail.com

Resumen

Este estudio evalúa la calidad del agua en los drenes agrícolas de la cuenca del río Culiacán mediante índices como el índice integral de calidad del agua (ICIA), el índice de calidad del agua (ICA) y el índice de estado trófico (IET). Los resultados revelan los problemas ambientales causados por las actividades antropogénicas en la agricultura. Se determinó que el agua no es apta para el consumo humano y se clasificó como de mala calidad según el ICIA. Sin embargo, el ICA indicó que es adecuada para actividades agrícolas, con una clasificación regular. Además, el IET mostró que la mayoría de los drenes presentan un estado hipertrófico debido al exceso de nutrientes, como el fósforo y el nitrógeno, lo que favorece la proliferación de algas y deteriora la calidad del agua. Este estudio subraya la necesidad de implementar estrategias de gestión sostenible. Asimismo, las prácticas agrícolas deben orientarse a la sostenibilidad para garantizar un suministro de agua seguro y saludable a largo plazo en la región.

Palabras clave: índices de calidad del agua, drenes agrícolas, evaluación ambiental.

Introducción

La escasez y la contaminación del agua son problemas cada vez más frecuentes a nivel mundial, lo que ha hecho que el monitoreo de su calidad en los cuerpos acuáticos sea una necesidad. La contaminación causada por actividades antropogénicas altera la calidad del agua y afecta su disponibilidad para diferentes usos¹. El estado de Sinaloa es una de las entidades federativas con mayor productividad agrícola en México, y gran

parte de sus cultivos se localizan en la cuenca del río Culiacán². La actividad agrícola en esta región genera una importante carga de contaminantes en los drenes agrícolas, lo que puede afectar la calidad del agua y los ecosistemas asociados³. En este estudio, se aplicaron distintos índices de calidad del agua para obtener una evaluación integral desde diversas perspectivas. En este sentido, se analizaron el índice de contaminación integral del agua (ICIA), el índice de calidad del agua (ICA), el índice de estado trófico (IET) y el índice de riesgo ecológico, utilizando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los drenes agrícolas de la cuenca del río Culiacán. Los resultados permitirán comprender mejor el impacto de la actividad agrícola en la calidad del agua y contribuirán al desarrollo de estrategias para su manejo sostenible.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la cuenca del río Culiacán ubicada en el estado de Sinaloa (figura 1), donde se analizaron ocho drenes agrícolas que se encuentran dentro de la cuenca. Los drenes agrícolas estudiados se ubican entre los municipios de Culiacán y Navolato.

Parámetros de calidad del agua

Los datos se obtuvieron a partir de los resultados de la Red Nacional de Medición de Calidad del Agua (RENAMECA) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) durante el periodo 2012-2020. Los muestreos se realizaron bimensualmente en cada uno de los ocho drenes de la zona agrícola de la cuenca del río Culiacán.

Índice de contaminación integral del agua

El ICIA es una herramienta de evaluación que permite sintetizar la información sobre la calidad del agua mediante un enfoque estadístico. Para este índice, los parámetros utilizados fueron: nitrato, nitrito, nitrógeno total, fósforo total (FT), demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), debido a su relevancia en la caracterización de la contaminación de origen agrícola (tabla 1). Los valores obtenidos para cada parámetro se compararon con los límites máximos permisibles establecidos por estándares internacionales (como los de la Organización Mundial de la Salud), lo que permitió clasificar el agua según su calidad⁴.

Índice de calidad del agua

El ICA aplicado en esta investigación sigue la metodología desarrollada por Brown⁵, que permite evaluar los efectos de los contaminantes en cuerpos de agua, principalmente los derivados de actividades antropogénicas. Para su cálculo, es fundamental disponer de las concentraciones de nueve parámetros clave: coliformes, pH, DBO, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez, sólidos disueltos totales y oxígeno disuelto (tabla 1). Cada uno de estos parámetros posee un peso específico asignado conforme a la metodología establecida por Brown.

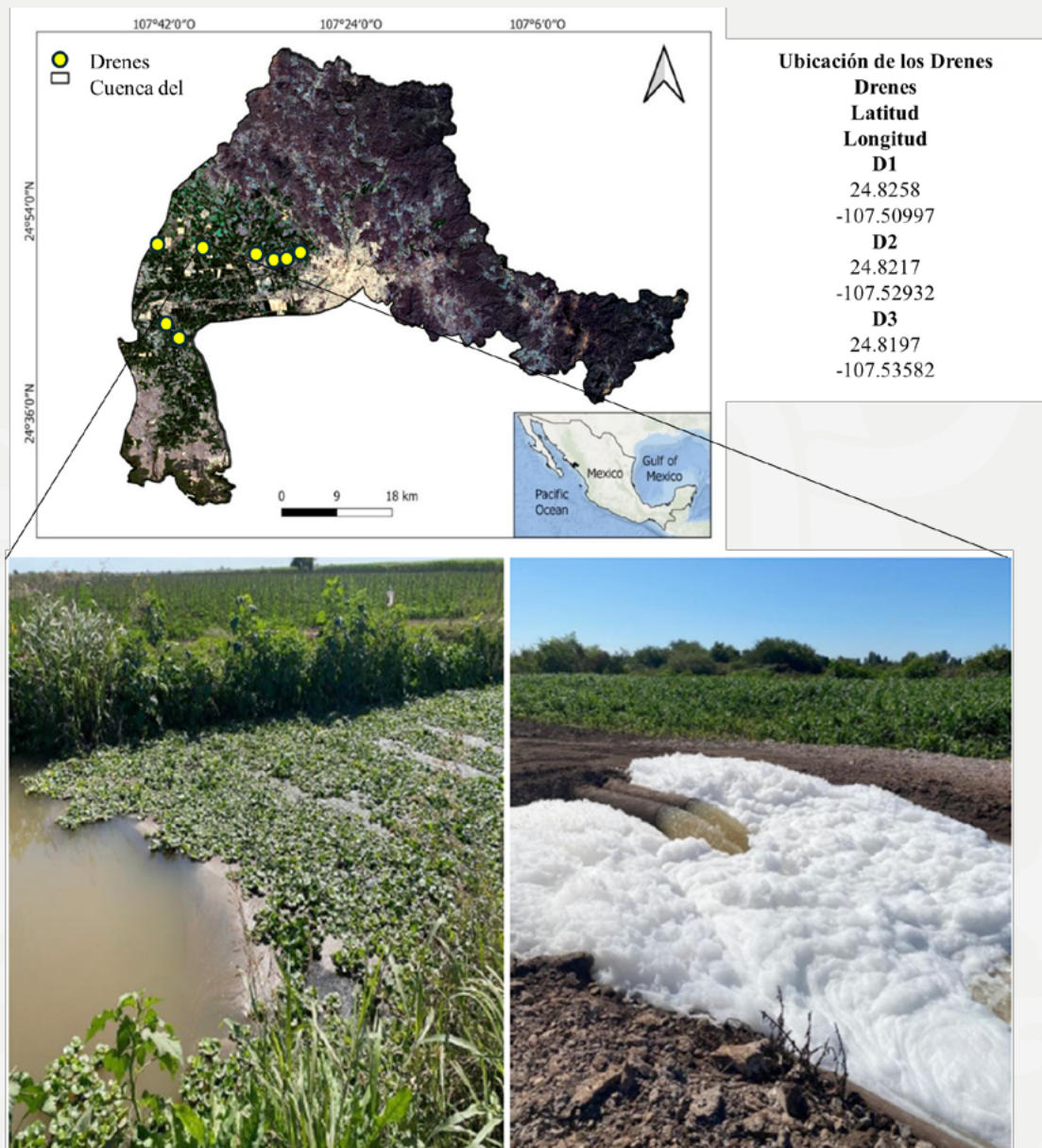


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Culiacán y los sitios de muestreo y descargas de aguas agrícolas al dren.

Índice de estado trófico

El IET se evalúa a partir de la concentración de nutrientes, que influyen en la productividad biológica del ecosistema. En el presente estudio se utilizó la metodología basada en FT propuesta por Cunha et al.6, dado que este elemento se considera el principal nutriente limitante en los sistemas acuáticos. La elección del FT como variable de referencia permite una evaluación más precisa del grado de eutrofización y proporciona información clave sobre el estado y la dinámica trófica del cuerpo de agua analizado (tabla 1).

Tabla 1. Ecuaciones de los índices de calidad aplicados al análisis de la calidad del agua de los drenes agrícolas.

Ecuaciones	Términos	Referencias
$ICIA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Ci}{Si} \right)$	P: índice de contaminación integral. Ci: concentración del parámetro (mg / L). Si: valor de referencia de la calidad del agua. n: número de parámetros seleccionados.	4
$ICA = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$	w _i : pesos relativos asignados a cada parámetro, ponderados entre 0 y 1, cuya suma es igual a 1. Sub _i : subíndice del parámetro i.	5
$IET = \frac{10 \times (6 - 0.2763)(\ln FósforoTotal) + 1.3297}{\ln 2}$	IET: índice de estado trófico de Carlson. PT: fósforo total. Ln: logaritmo natural.	6

Resultados y discusión

El análisis del ICIA en los drenes de la cuenca del río Culiacán reveló que la calidad del agua es inaceptable para el consumo humano y se clasifica como muy mala según este índice. El ICA, que evalúa de manera integral los niveles de contaminación mediante diversos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, permite obtener una visión clara de la aptitud del agua para el consumo humano, con base en los lineamientos establecidos por la Organización Mundial de la Salud. Los resultados mostraron que los niveles de contaminantes en el agua de los drenes superan los límites permitidos por la normativa internacional, lo que subraya la urgente necesidad de implementar estrategias de gestión y tratamiento para mejorar la calidad del recurso hídrico en la región.

Por otro lado, el ICA clasificó el agua de los drenes agrícolas como regular, lo que sugiere que, aunque no es adecuada para el consumo humano, puede emplearse en actividades agrícolas como el riego. No obstante, para su uso público o recreativo, se requieren tratamientos adicionales. En términos de su uso recreativo, no se recomienda por los posibles efectos adversos sobre especies acuáticas, como los peces, que podrían verse afectados por los niveles de contaminación actuales. En este sentido, el agua de los drenes agrícolas puede considerarse reutilizable en condiciones específicas para el sector agrícola⁶.

En cuanto al IET, los resultados mostraron que la mayoría de los drenes agrícolas se encuentran en estado hipertrófico, lo que indica un exceso significativo de nutrientes, en particular de fósforo y nitrógeno, factores determinantes del proceso de eutrofización. Resultados similares reportaron Mendivil-García et al.², quienes monitorearon la calidad del agua en la región. La elevada concentración de estos nutrientes incrementa la proliferación de algas, lo que deteriora la calidad del agua, los hábitats acuáticos y los alimentos disponibles

para las especies. Además, la excesiva presencia de algas reduce los niveles de oxígeno disuelto en el agua, lo que afecta gravemente la supervivencia de peces y otras especies acuáticas.

Conclusiones

Este estudio se realizó mediante metodologías convencionales, como los índices de calidad del agua, y evaluó la calidad del agua en los drenes agrícolas de la cuenca del río Culiacán. Los resultados muestran que el agua presenta un alto grado de contaminación, lo que la hace inapta para el consumo humano, pero reutilizable en actividades agrícolas. El agua también presenta un alto grado de contaminación trófica, lo que requiere medidas para reducir la entrada de residuos como detergentes, fertilizantes y plaguicidas. Aunque no se identifica un alto riesgo ecológico, es necesario monitorear los metales pesados, ya que son tóxicos. Este estudio proporciona datos valiosos para aplicar tratamientos que mitiguen los contaminantes y protejan el medio ambiente, la salud humana y la producción agrícola, esenciales para la seguridad alimentaria.

Referencias bibliográficas

1. Ashmawy, H. H., El Bahrawy, A. H., & Fathy, S. (2025). Enhancement of Agriculture Drainage Water Quality Using Bio-Reactor. *Egyptian Journal of Chemistry*, 68(2), 573-581. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2024.277183.9470>
2. Mendivil-García, K., Medina, J. L., Rodríguez-Rangel, H., Roé-Sosa, A., & Amábilis-Sosa, L. E. (2024). Optimization of the water quality monitoring network in a basin with intensive agriculture using artificial intelligence algorithms. *Water Supply*, 24(1), 204-222. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.336>
3. El-Aziz, A., Zienab, H., El-Ghannam, M. K., Amin, O. F., El-Al, A., & Saffaa, S. M. (2025). Environmental studies on some irrigation and drainage water in Egypt. *Egyptian Journal of Soil Science*, 65(1). <https://doi.org/10.21608/ejss.2024.332185.1903>
4. Loaiza, J. G., Rangel-Peraza, J. G., Sanhouse-García, A. J., Monjardín-Armenta, S. A., Mora-Félix, Z. D., & Bustos-Terrones, Y. A. (2021). Assessment of water quality in a tropical reservoir in Mexico: seasonal, spatial and multivariable analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14), 7456. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147456>
5. Quevedo-Castro, A., Rangel-Peraza, J.G., Bandala, E., Amabilis-Sosa, L., Rodríguez-Mata, A., Bustos-Terrones, Y. 2018. Developing a water quality index in a tropical reservoir using a measure of multiparameters. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 8(4), 752-766. <https://doi.org/10.2166/washdev.2018.049>
6. Cunha, D. G. F., do Carmo Calijuri, M., & Lamparelli, M. C. (2013). A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSItsr). *Ecological Engineering*, 60, 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.058>