

**Índice de calidad de agua ICA-NSF de la laguna Cuzcachapa, Chalchuapa,
Santa Ana. 2023-2024**

ICA-NSF water quality index of Cuzcachapa lagoon, Chalchuapa,
Santa Ana. 2023-2024

Mildred Amparo Sandoval de Avelar

Máster en Salud Pública por la Universidad de El Salvador(UES)

Licenciada en Química y Farmacia por la Universidad de El
Salvador(UES)

Investigadora en Universidad Autónoma de Santa Ana

mildred.sandoval@unasa.edu.sv

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8509-2335>

Adán Alexis Acosta Martínez

Máster en control de las enfermedades infecciosas por la
Universitat de Barcelona(UB)

Licenciado en Laboratorio Clínico por la Universidad Autónoma de
Santa Ana(UNASA)

Investigador en Universidad Autónoma de Santa Ana

Investigador2@unasa.edu.sv

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6378-5739>

Recibido: 13 de julio de 2024

Aceptado: 26 de agosto de 2025

Vol. 4, N° 2, 2025

Resumen

La laguna Cuzcachapa, ubicada en Chalchuapa, Santa Ana, es un sitio que forma parte del patrimonio natural e histórico de El Salvador, utilizada durante la época precolombina como fuente de agua y centro ceremonial por los pueblos originarios pipiles que se asentaron desde el período pre clásico. Esta investigación tuvo como objetivo determinar el índice de calidad del agua (ICA-NSF), como una forma de contribuir a la conservación de ese importante lugar. Se ejecutó un estudio de tipo y alcance descriptivo con diseño longitudinal, analizando indicadores microbiológicos y fisicoquímicos en la época transicional lluviosa-seca de 2023 y época seca de 2024. El valor del índice se mantuvo entre los 26 y 50 puntos en los diferentes puntos y épocas muestreadas, clasificándolo como "agua mala" según la escala del ICA-NSF, pero con cambios alentadores en la época seca. También se evidenciaron procesos naturales de estabilización en la época seca y variaciones posiblemente influenciadas por la naturaleza volcánica del sitio, lo cual destaca la pertinencia de implementar abordajes límnicos, geológicos, hidrodinámicos y batimétricos, para evaluar holísticamente la calidad del agua en esa fuente, la composición de gases disueltos y su origen geológico, todo esto para una mejor comprensión de la dinámica química y biológica de ese ecosistema.

Palabras clave: índice, calidad, agua, laguna, Chalchuapa

Abstract

Cuzcachapa Lagoon, located in Chalchuapa, Santa Ana, is a site that is part of El Salvador's natural and historical heritage. It was used during pre-Columbian times as a water source and ceremonial center by the indigenous Pipil people who settled there since the pre-Classic period. This research aimed to determine the water quality index (ICA-NSF) as a way to contribute to the conservation of this important site. A descriptive study with a longitudinal design was carried out, analyzing microbiological and physicochemical indicators during the 2023 rainy-dry transitional season and the 2024 dry season. The index value remained between 26 and 50 points at the different sampled points and times, classifying it as "bad water" according to the ICA-NSF scale, but with encouraging changes during the dry season. Natural stabilization processes were also evident during the dry season, as well as variations possibly influenced by the volcanic nature of the site. This highlights the relevance of implementing limnic, geological, hydrodynamic, and bathymetric approaches to holistically assess the water quality of this source, the composition of dissolved gases, and its geological origin, all for a better understanding of the chemical and biological dynamics of this ecosystem.

Keywords: index, quality, water, lagoon, Chalchuapa

Introducción

De acuerdo con las Guías para el uso de la biota, los sedimentos y el agua en el monitoreo ambiental, la evaluación completa de la calidad del agua se basa en el seguimiento adecuado de los componentes hidrológicos, fisicoquímicos y biológicos de los cuerpos de agua, tanto marítimos como continentales, cuya hidrodinámica se relaciona con el ciclo hidrológico, ya que todas las fuentes de agua, incluyendo las continentales (agua dulce), poseen un patrón de características fisicoquímicas influenciado por sus condiciones climáticas, geomorfológicas y geoquímicas (Chapman, 1996), particulares. Por otra parte, la Organización Mundial de la Salud, refiere la calidad del agua a las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua, en relación con los criterios pre-establecidos en función de sus usos (WHO, 2017), esto supone el establecimiento de parámetros que integrados en un programa de monitoreo, permitan evaluar la calidad del agua.

Las variaciones que podría presentar el agua en relación con el ciclo hidrológico pueden registrarse a través de la aplicación de un índice de la calidad del agua (ICA), existen varios y constituyen herramientas que posibilitan efectuar el monitoreo considerando parámetros que se evalúan asignando un valor numérico asociado a determinadas características o aptitudes (González, Stehr, & Barra, 2024).

El valor numérico calculado con el cual se establece la calidad del agua, puede analizarse en función de las variables naturales que influyen, como por ejemplo el tipo de suelo, variaciones climáticas, eventos naturales, y otros como las características geológicas que explicarían niveles de diferentes elementos particulares ingresados a través de la meteorización de rocas por efecto de la lluvia, como sucede en las fuentes de origen volcánico (IANAS, 2021). La ventaja de la utilización de un índice ICA es la facilidad de interpretación de los resultados y proporciona una visión general del estado de un cuerpo hídrico.

Uno de los enfoques para el cálculo de un índice de calidad de agua es el producto ponderado, donde a cada parámetro considerado se le asignan pesos en función de su importancia, y luego se multiplican para evitar el enclipsamiento o error de cálculo que sucede por la agregación aditiva de las funciones (Fernández y Solano, 2007).

Uno de los índices utilizado y aceptado internacionalmente como estrategia pedagógica en formación ambiental es el índice desarrollado por la fundación de sanidad nacional de Estados Unidos (Fernández, Solano, 2007). El ICA- NSF, es un valor numérico que después de su cálculo matemático, se categoriza en diferentes niveles y con ello, se expresa la calidad del agua. Su cómputo se realiza a través de pesos ponderados, los cuales han sido validados ampliamente.

Su diseño incluye nueve parámetros indicadores, a los cuales les corresponde un respectivo peso relativo y calculado mediante orientación matemática (curvas funcionales).

Laguna Cuzcachapa

La laguna Cuzcachapa, además de ser un cuerpo de agua dulce, es un sitio arqueológico que integra el área de Chalchuapa. Esta zona ha presentado ocupación humana continua desde el periodo preclásico mesoamericano (2,500 a. C) y posiblemente fue un sitio de abastecimiento de agua para los pobladores, ya que se encuentra a solamente 325 metros al Norte del parque arqueológico Tazumal, donde se concentraban los asentamientos pipiles de Chalchuapa en el período post clásico (900-1524 d.C) (Sherer, 1995).

Este sitio conforma un ecosistema acuático de agua dulce tipo lentic; es decir que presenta una estructura cerrada carente de una corriente que la oxigene, y el recambio de agua está sujeto a la precipitación pluvial durante la época lluviosa y a la infiltración en el suelo.

En el año 2019, el Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales realizó un estudio sobre cambios fisicoquímicos que ocurren en el agua de la laguna, concluyendo que la profundidad la hace susceptible a cambios frecuentes en sus condiciones fisicoquímicas, ya sea por la inestabilidad producida por vientos o por el ingreso de agua pluvial. Además, mencionan que el agua experimenta variaciones en los niveles de oxígeno disuelto cercano a cero m/L, ocurriendo con mayor facilidad durante la noche cuando cesa la producción de oxígeno (MARN, 2019).

En esa ocasión, el MARN recomendó implementar procesos de restauración de la laguna, mediante la siembra en su contorno de plantas nativas, de crecimiento lento para mejorar la calidad del agua y mantener un plan de monitoreo anual posterior a la implementación de acciones de restauración, por lo que, como un aporte a la comunidad, esta investigación tuvo como objetivo determinar el índice ICA-NSF, durante la época transicional lluviosa-seca de 2023 y seca 2024, para que los resultados contribuyan al conocimiento del estado actual de la laguna y que los hallazgos puedan servir a la comunidad para la implementación de otras acciones encaminadas a la mejoría de sus características y contribución a su conservación, ya que este lugar forma parte del patrimonio natural y cultural del país.

Metodología

Tipo de investigación

Esta fue una investigación de tipo y alcance descriptivo con diseño longitudinal, realizada durante la época transicional lluviosa seca de 2023 y época seca de 2024.

Establecimiento de puntos de muestreo

Para establecer los sitios de muestreo, se realizó previamente una inspección de campo, la cual permitió seleccionar y georreferenciar cinco puntos representativos en la laguna, incluyendo su zona central. Ver figura 1.

Figura 1.

Puntos de muestreo en la laguna Cuzcachapa



Nota: Elaboración propia a partir de mapa tomado de https://www.google.com/maps/@13.9837989,-89.6738488,742m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDgxMy4wKXMDSoASAFQAw%3D%3D

Toma de muestras

Las muestras se tomaron en horas matutinas, entre las 8 y 11 de la mañana, en zonas próximas a la orilla de la laguna, de forma puntual y superficial. Para acceder al punto del centro, se utilizó una balsa impulsada por remos (sin motor), con previo aviso a la unidad de medio ambiente de la municipalidad.

En cada punto de muestreo se realizó el análisis in situ de cuatro parámetros. La temperatura del ambiente se midió con un termómetro de mercurio, mientras que la temperatura del agua, el pH y el porcentaje de saturación de oxígeno se registraron utilizando una sonda multiparámetros sumergible, la cual se arrojó desde la orilla. También se recolectó una muestra en frasco completamente lleno para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO_5), otra destinada a la cuantificación de coliformes fecales, en bolsa de transporte estéril y otra para el resto de análisis. Después de colectadas, todas las muestras se colocaron en hielera, protegidas de la luz y mantenidas a una temperatura controlada entre 1 y 5°C. El tiempo transcurrido entre la recolección y el análisis no superó las 24 horas.

Cálculo del índice ICA-NSF

El cálculo del índice ICA, se realizó con la ayuda del software ICATEST. V 1.0, desarrollado por investigadores de la Universidad de Pamplona. Esta herramienta se utilizó con fines estrictamente académicos, obteniéndose desde el sitio web de la vicerrectoría de investigaciones de la universidad de pamplona.

Para estimar el índice ICA-NSF se realiza una sumatoria lineal ponderada y los resultados se expresan en una escala de 0 a 100, clasificándolo de acuerdo con el siguiente detalle (ver tablas 1 y 2).

Tabla 1.

Factores de ponderación por parámetro indicador de la calidad del agua

Parámetro	Unidades	Factor de ponderación
DBO ₅	mg/L	0.11
Oxígeno disuelto	% Saturación	0.17
Coliformes fecales	UFC/100 mL	0.16
Nitratos	mg/L	0.10
pH	Unidades de pH	0.11
Cambio de temperatura	°C	0.10
Sólidos totales	mg/L	0.07
Fosfatos	mg/L	0.10
Turbidez	NTU	0.08

Nota: Abbasi y Abbasi, 2012.

Tabla 2.

Escala de clasificación por rangos del índice ICA-NSF

Calidad del agua	Color	Valor
Excelente		91-100
Buena		71-90
Media		51-70
Mala		26-50
Muy mala		0-25

Nota: Fernández y Solano, 2007.

Análisis estadísticos

Para comparar los promedios entre grupos de datos dependientes se utilizó la prueba t de student para muestras emparejadas (pares relacionados), considerando un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia estadística del 0.05.

Para realizar esta prueba se utilizó el software de uso libre pspp disponible para descarga en: <https://www.gnu.org/software/pspp/>

Resultados

En la tabla 3, se presentan los resultados del índice ICA-NSF en cada uno de los puntos muestreados en la época transicional lluviosa -seca de 2023 y época seca de 2024, asimismo en la figura 2, se muestra el comparativo de las variaciones del índice.

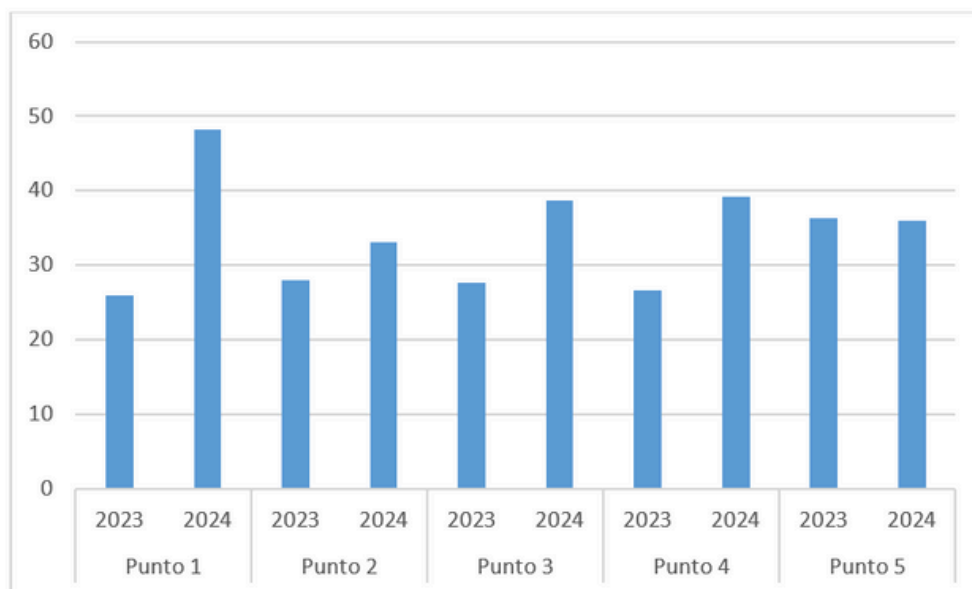
Tabla 3.

Resultados del índice ICA en los puntos y épocas muestreadas.

Parámetro	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 4		Punto 5	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
ICA-NSF	25.98	48.11	28.04	33.02	27.55	38.67	26.67	39.25	36.36	36.02

Figura 2.

Lecturas del índice ICA y comparativo por época



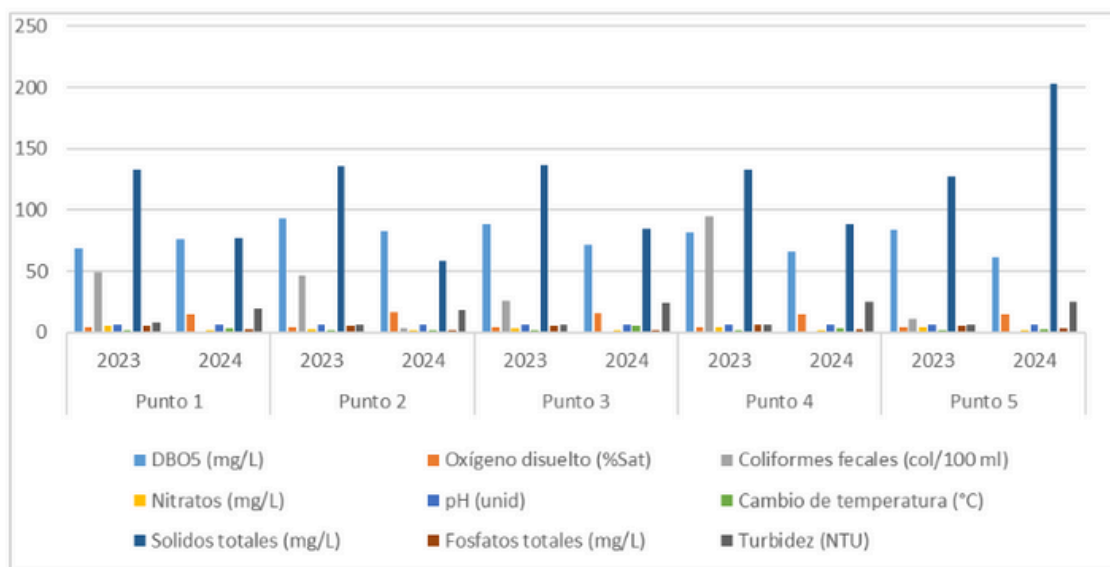
Como puede apreciarse, durante la época transicional lluviosa-seca 2023, el índice ICA se mantuvo en la categoría de 26 a 50 puntos, al igual que en la época seca de 2024, lo que lo clasifica en la categoría de agua mala, sin embargo, se aprecia una mejoría en la época seca evidenciada por una diferencia de 17.36 puntos en los promedios (21.65 vs 39.01), lo cual puede estar relacionado con una mayor estabilización de la columna de agua, la temperatura y el oxígeno disuelto en esa época.

También se realizó una prueba t de Student para muestras emparejadas, obteniéndose un valor $t = -3.53$ con 3 grados de libertad y un valor $p = 0.037$, por lo que se demuestra que existieron diferencias significativas para el índice entre las mediciones realizadas.

En la figura 3, se muestran los resultados obtenidos para cada parámetro y se aprecian las variaciones para cada uno de ellos en ambas épocas analizadas.

Figura 3.

Lecturas de cada parámetro y variabilidad por época.



Con respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO 5), pueden observarse ligeras variaciones en la mayoría de los puntos, pero también una tendencia a disminuir en 2024, especialmente en el punto número 5 correspondiente al centro de la laguna, sin embargo, el análisis estadístico mediante la prueba t ($t = 2.29$; $gl = 4$; $p = 0.084$) no mostró diferencias significativas entre los periodos evaluados.

Con respecto a los nitratos, también hubo una reducción durante la época seca, lo cual puede indicar un proceso de natural de desnitrificación o asimilación biológica por plantas que circundan la laguna. El análisis estadístico mediante la prueba t mostró diferencias significativas ($t = 5.34$; $gl = 4$; $p = 0.006$).

Los sólidos totales también disminuyeron durante la época seca y solo se registró un aumento en el centro del lago, pero sin demostrarse diferencias significativas ($t = 1.14$; $gl = 4$; $p = 0.319$). Esto pudo estar relacionado con un posible aporte subterráneo de minerales, ya que la laguna Cuzcachapa de origen volcánico y durante el muestreo de 2024, se percibía un característico olor a emanaciones azufradas en el ambiente.

En cuanto al oxígeno, los valores aumentaron significativamente en la época seca ($t = -26.43$; $gl = 4$; $p = 0.000$), posiblemente por una mayor fotosíntesis acuática y mayor radiación solar, también se explicaría ya que, al disminuir la demanda bioquímica de oxígeno, aumenta la disponibilidad de este elemento en el agua.

El potencial de hidrógeno (pH) indica que el agua de la laguna se mantiene en un rango ligeramente ácido, sin diferencias significativas entre mediciones ($t = 2.60$; $gl = 4$; $p = 0.060$) lo cual puede explicarse considerando la naturaleza volcánica y posible oxidación de sulfuros, asimismo la entrada de agua de lluvia y posible escorrentía.

Para el caso de los fosfatos también se registró una disminución significativa en la época seca ($t = 8.71$; $gl = 4$; $p = 0.001$), lo cual puede estar relacionado con una mayor asimilación biológica, cese de aporte de aguas lluvias y posible escorrentía.

Los niveles de coliformes disminuyeron significativamente durante la época seca ($t = 3.23$; $gl = 4$; $p = 0.032$). Se ha mencionado ya, que el día del muestreo se percibía un característico olor a emanaciones azufradas en el ambiente de la laguna, lo cual podría indicar liberación de gases que al disolverse en el agua podrían generar cambios que generen la disminución de bacterias coliformes, asimismo al cesar el aporte de agua lluvia y posible escorrentía, se reduce también la entrada de nuevos coliformes y los que ya se encontraban en el agua pueden morir al aumentar la temperatura y la radiación solar característica de la época seca.

Los cambios en la temperatura ambiente y la del agua fueron mayores en la época seca, lo cual guarda relación con las variaciones climáticas características de esa estación del año ($t = -3.22$; $gl = 4$; $p = 0.032$).

La turbidez experimentó un aumento en todos los puntos durante la época seca, alcanzando significancia estadística ($t = -8.92$; $gl = 4$; $p = 0.01$), lo cual posiblemente se relacione con un aumento de partículas finas en suspensión en la columna de agua.

Discusión

El índice de calidad del agua (ICA-NSF) se mantuvo entre 26 y 50 puntos en ambas épocas muestreadas, sin embargo, se observó una mejoría en la estación seca, lo que sugiere una mayor estabilidad en la columna de agua, temperatura y oxígeno disuelto, especialmente en el punto donde hubo un incremento del ICA en 48.11, este hallazgo coincide con lo señalado por Chidiac, S. et al.(2023) en un estudio sobre índices de calidad del agua, donde se menciona que el índice ICA-NSF se ve influenciado por variaciones estacionales.

Aunque se apreciaron ligeros cambios en las lecturas de la demanda bioquímica de oxígeno, no se alcanzó significancia estadística, posiblemente por el período entre monitoreos, ya que Alobaidy A. H. et al. (2010) señalan que los cambios para DBO son limitados en contextos con poca variabilidad temporal como el caso de esta investigación.

Los nitratos experimentaron una reducción durante la época seca posiblemente asociada a desnitrificación biológica, estudios previos han documentado comportamientos similares, donde la asimilación de los nitratos por vegetación acuática y procesos de nitrificación bacterianos reducen los nitratos en estaciones secas o períodos de menor escorrentía (Gómez-Gener et al., 2018), lo cual resalta la importancia de estos mecanismos naturales en sistemas fluviales.

Los sólidos totales disminuyeron durante la época seca, excepto en el centro del lago donde aumentaron; lo cual puede deberse a algún aporte geológico de sales disueltas o sedimentos, pero al no alcanzar significancia estadística se presume que pudo ser un hecho limitado, como lo indican otros estudios sobre cuerpos de agua volcánicos donde los sólidos registran respuestas moduladas (Rouwet y Tassi, 2018).

En cuanto al oxígeno disuelto, se observó un aumento significativo en la época seca y a la vez la DBO5 se redujo. Esta relación de mayor oxígeno disponible y una menor lectura de DBO, coincide con estudios que subrayan la dinámica inversa entre oxígeno disuelto y carga orgánica (Alobaidy A. H. et al., 2010), particularmente en condiciones de alta radiación solar y menor escorrentía como es el caso durante la época seca.

El pH es una medida constante en el agua de la laguna, en ambas épocas se mantuvo ligeramente ácido, sin diferencias significativas entre estaciones, lo cual coincide con una investigación sobre la calidad del agua del río Bogotá en la que una ligera acidez del agua era indicativa de procesos de compensación naturales (Marimón-Bolívar W. et al., 2021).

Los fosfatos también mostraron una disminución significativa durante la época seca, lo que puede vincularse a procesos biológicos y meteorológicos. Este comportamiento concuerda con las tendencias observadas en otros estudios donde la carga de fosfatos disminuye significativamente en condiciones de menor escorrentía y alta actividad biológica (Lao et al., 2023).

Los niveles de coliformes disminuyeron significativamente durante la época seca, la posible disolución de gases en el agua, la radiación solar y el cese de aporte de aguas de lluvia y escorrentía pudo disminuir la cantidad de coliformes. Esta confluencia de factores ha sido observada en otros estudios donde monitoreos en diferentes épocas del año evidencian reducciones bacterianas importantes en los períodos secos (Him, et al., 2024).

El comportamiento de los diferentes parámetros monitoreados en la laguna en la época transicional y seca pone de manifiesto que la calidad del agua se ve influenciada por variaciones estacionales como la precipitación pluvial, el ingreso de corrientes de agua, posible alimentación subterránea debida al origen volcánico, así como cambios en la disponibilidad de aniones nutrientes que pueden guardar relación con actividades antrópicas que se desarrollan en los alrededores de la laguna, pero también y muy importante con la misma naturaleza de la geología que la conforma.

Resulta interesante además que, aunque se realizó una búsqueda de antecedentes que registren emanaciones de compuestos característicos azufrados en la laguna, únicamente se obtuvieron los referidos por personas que habitan en zonas cercanas, por lo que esto puede ser una oportunidad para desarrollar investigaciones geológicas e hidrodinámicas que permitan comprender mejor la influencia del sustrato volcánico en el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua, ya que los minerales de las rocas volcánicas se vuelven disponibles y aumentan su concentración por procesos naturales de meteorización u óxido reducción.

Se recomienda ampliar la frecuencia, duración y puntos de muestreo para futuros abordajes, a fin de registrar mayores cambios y no solo tendencias.

Las recomendaciones anteriores para futuros abordajes, permitiría evaluar con mayor objetividad la relación entre la calidad del agua y el uso antrópico de la cuenca de la laguna Cuzcachapa, con el fin de proponer estrategias de gestión que consideren tanto las condiciones naturales como los posibles impactos humanos para su conservación.

Conclusión

De acuerdo a los hallazgos, la calidad del agua de la laguna presenta variaciones estacionales con una ligera tendencia a la mejoría en la época seca, aunque en términos generales se mantiene en la categoría de 26 a 50 puntos.

Al no contar con el monitoreo de todas las épocas del año, se recomienda que estos resultados se consideren como una estimación del estado de la calidad del agua en la laguna Cuzcachapa, asimismo, se sugiere para posteriores abordajes complementar con estudios límnicos, geológicos, hidrodinámicos y batimétricos, para evaluar holísticamente la calidad del agua en esa fuente, ya que la geología de la laguna puede influir en la fluctuación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Se sugiere que futuras investigaciones aborden la composición de gases disueltos y su origen geológico, para una mejor comprensión de la dinámica química y biológica de ese ecosistema.

Agradecimientos

Los investigadores agradecen al Sr. Jordán por su valiosa colaboración en la toma de muestras del centro de la laguna, asimismo, agradecen al Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales y a la unidad ambiental de Santa Ana Oeste, por su orientación y colaboración en el desarrollo de esta investigación.

Referencias consultadas

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2012). "Conventional" indices for determining fitness of waters for different uses. En T. Abbasi & S. A. Abbasi (Eds.), *Water quality indices* (pp. 25-62). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-54304-2.00003-8>
- Alobaidy, A. H. M. J., Abid, H. S., & Maulood, B. K. (2010). Application of Water Quality Index for assessment of Dokan Lake Ecosystem, Kurdistan Region, Iraq. *Journal of Water Resource and Protection*, 2(9), 792-798. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2010.29093>
- Chapman, D. V. (Ed.). (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2.ª ed.). E & FN Spon. UNESCO/WHO/UNEP. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/41850/0419216006_eng.pdf;jsessionid=85D6F730B632923F6D2CF5C052B9ED8A?sequence=1
- Chidiac, S., El Najjar, P., Ouaini, N., El Rayess, Y., & El Azzi, D. (2023). A comprehensive review of water quality indices (WQIs): History, models, attempts and perspectives. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 22(2), 349-395. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09650-7>
- Fernández, N., & Solano, F. (2007). *Índices de calidad y de contaminación del agua*. Universidad de Pamplona. https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/05082010/libros.jsp
- Gómez-Gener, L., von Schiller, D., Gómez, N., & Muñoz, I. (2018). Drying and rainfall shape the structure and functioning of nitrifying microbial communities in stream sediments. *Frontiers in Microbiology*, 9, 2794. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02794>
- González, P. S., Stehr, A., & Barra, R. O. (2024). Assessment of water quality trends through the application of an aggregated water quality index with historical monitored data in a Mediterranean Andean basin. *Ecological Indicators*, 166, 112373. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112373>
- IANAS. (2021). *Calidad del agua en las Américas: Una sinopsis* (1.ª ed., Córdoba, Argentina). IANAS. <https://ianas.org/wp-content/uploads/2021/09/Calidad-del-Agua-en-las-Américas-Una-sinopsis.pdf>
- Lao, W., Wang, X., Wang, Z., & Zhang, Y. (2023). Increasing eutrophication driven by the increase of phosphate discharges from industrial factories in Zhanjiang Bay, China. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1184421. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1184421>

- Marimón-Bolívar, W., Toussaint Jiménez, N., Jiménez, C., Chavarro, J., & Domínguez, E. (2021). Comparative analysis of water quality indices and their relationship with anthropogenic activities: Case study Bogotá River. *Science Progress*, 104(2). https://assets-eu.researchsquare.com/files/rs-471745/v1_covered.pdf?c=1631867851
- Rouwet, D., & Tassi, F. (2018). Fluid-mineral dynamics at the Rincón de la Vieja volcano crater lake (Costa Rica): Geochemical insights into volcanic activity. *Frontiers in Earth Science*, 6, 119. <https://www.frontiersin.org/journals/earth-science/articles/10.3389/feart.2023.1197568/full>
- Sherer, R. (1995). La prehistoria de la periferia maya del sureste. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/anuario/article/view/3835/3708>
- Him, J., Marín, J., Montilla, D., & Herrera, R. (2024). Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua en la desembocadura del río Suay, Mariato, Veraguas. *Centros: Revista Científica Universitaria*, 13(2), 117-133. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/centros/article/view/5293/4158>
- World Health Organization. (2017). Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1>
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección de Ecosistemas y Vida Silvestre Área de Humedales. (2019). Cambios físico-químicos en la laguna de Cuzcachapa.