

Índice de calidad del agua en una sección del arroyo El Gallinazo, Aguachica (Cesar - Colombia)

Water quality index in a section of El Gallinazo stream, Aguachica (Cesar - Colombia)

Rossember Saldaña-Escorcía^{1,2*} , Kelly Jhoana Rodelo-Soto² ,
Dairo Iván Bermúdez-Laiton² 

¹Grupo de Investigación en Estudios Ambientales y Sanitarios, Departamento de Ciencias Ambientales y Sanitaria, Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica, Carrera 40 #1Norte-58, CP. 205010, Aguachica, Cesar, Colombia.

²Grupo de Investigación Gestión Ambiental y Territorios Sostenibles-GE&TES, Departamento de Ciencias Ambientales y Sanitaria, Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica, Carrera 40 #1Norte-58, CP. 205010, Aguachica, Cesar, Colombia.

*Autor de correspondencia: rsaldanae@unicesar.edu.co

Artículo científico

Recibido: 24 de marzo 2024

Aceptado: 2 de julio 2024

RESUMEN. El índice de calidad del agua (ICA) es un método eficaz para representar de manera completa la calidad del agua que permite el levantamiento de información inexistente en la zona sobre el recurso hídrico permitiendo generar una adecuada gestión y gobernanza por el agua. El objetivo fue determinar la calidad del agua en una sección del arroyo El Gallinazo mediante un ICA. Se cuantificó el oxígeno disuelto (OD), la demanda biológica de oxígeno (DBO), turbidez, el potencial hidrógeno (pH), la conductividad eléctrica (CE), el cambio en la temperatura (T°C) y los fosfatos. Los resultados de los parámetros evaluados fueron como sigue: OD de 39.22 a 83.6% de saturación; DBO5 de 1.0 a 60 mg O₂ L⁻¹; DQO de 1.0 a 240 mg L⁻¹; Turbidez de 1.33 NTU a 56.82 NTU; T de 20.3 a 27°C; pH de 5.9 a 7.6; CE de 126.3 a 223 μS cm⁻¹; y fosfatos de 0.02 a 1.07 mg L⁻¹. La evaluación de la calidad del agua en el tramo alto reveló que el ICA varía entre 0.42 y 0.53, con un promedio de 0.47, lo que señala una baja calidad del agua en esta zona. La contaminación presente en este tramo del cauce se atribuye a las actividades socioeconómicas (ganadería, monocultivos y lavandería) realizadas en la zona. En consecuencia, se concluye que el agua no cumple con los estándares adecuados para el consumo humano. No obstante, aún puede ser utilizada con propósitos agrícolas, dado que los parámetros analizados se mantienen en los límites permitidos.

Palabras clave: Colombia, contaminación, gobernanza, índice, recurso hídrico.

ABSTRACT. The Water Quality Index (WQI) is perceived as an effective method to fully represent water quality, allowing the collection of information on water resources that does not exist in the area, thus allowing the generation of adequate water management and governance. The objective was to determine the water quality in a section of the El Gallinazo stream using the water quality index. Dissolved oxygen (DO), biological oxygen demand (BOD), turbidity, hydrogen potential (pH), electrical conductivity (EC), temperature change (T°C) and phosphates were quantified. The results of the evaluated parameters were as follows: DO from 39.22 to 83.6% saturation; BOD5 from 1.0 to 60 mg O₂ L⁻¹; COD from 1.0 to 240 mg L⁻¹; turbidity from 1.33 NTU to 56.82 NTU; T from 20.3 to 27°C; pH from 5.9 to 7.6; EC from 126.3 to 223 μS/cm; and phosphates from 0.02 to 1.07 mg L⁻¹. The evaluation of the water quality in the upper stretch of the Gallinazo River showed a range of results according to the Water Quality Index (WQI), which varied between 0.42 and 0.53, with an average of 0.47, indicating a low water quality in this area. The pollution present in this section of the river is attributed to the socioeconomic activities (cattle ranching, monoculture and laundry) carried out in the area. Therefore, it is concluded that the water does not meet adequate standards for human consumption. However, it can still be used for agricultural purposes, since the parameters analyzed are within the permitted limits.

Key words: Colombia, pollution, governance, index, water resources.

Como citar: Saldaña-Escorcía R, Rodelo-Soto KJ, Bermúdez-Laiton DI (2024) Índice de calidad del agua en una sección del arroyo El Gallinazo, Aguachica (Cesar - Colombia). Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 11(3): e4104. DOI: 10.19136/era.a11n3.4104.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos naturales más abundantes del planeta. Aproximadamente el 75% de la superficie terrestre está cubierta por agua, pero solo un 5% es agua dulce disponible para el consumo. Después de las lluvias, la mayor parte del agua se pierde en procesos naturales como la evaporación, la transpiración y la evapotranspiración (Mishra *et al.* 2023). Es crucial contar con agua de alta calidad para usos agrícolas, industriales y comerciales, además de ser indispensable para el consumo humano y las necesidades domésticas (Kannel *et al.* 2007).

En las últimas décadas, el aumento en las presiones antrópicas y la explotación excesiva de los recursos hídricos han ocasionado su deterioro (Štambuk-Giljanović 2003, Mishra *et al.* 2023). La degradación se atribuye a factores, como la contaminación industrial, el aumento demográfico, el agotamiento provocado por el uso desigual del agua, la disminución de las precipitaciones debido al cambio climático global y la liberación de desechos industriales. Además, la inadecuada gestión de aguas residuales sin tratamiento, la filtración de agua de riego contaminada y productos agrícolas, junto con la ausencia de una planificación efectiva en la administración del agua, son elementos clave que contribuyen al deterioro de este recurso (Al-Ridah *et al.* 2021, Mohammed *et al.* 2022). Por esta razón, la actividad de monitoreo es fundamental para la gestión adecuada de los recursos hídricos. De acuerdo con Burt *et al.* (2016), el monitoreo no solo implica la medición analítica, sino que también es crucial para que estos datos estén accesibles para las autoridades ambientales, la comunidad civil y científica. Además, es esencial evaluar y ajustar diversas metodologías para determinar el enfoque y/o método para evaluar el verdadero estado de las aguas subterráneas y los ríos (Castro *et al.* 2014).

La formulación del índice de calidad del agua (ICA) fue establecida por Horton (1965), revelando las preocupantes problemáticas ambientales que afectaban a los ecosistemas acuáticos objeto de análisis. A través de la consideración de variables habitualmente monitoreadas, como oxígeno disuelto (OD), coliformes totales, pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, cloruros y temperatura, el índice evalúa la contaminación del agua, estandarizando una metodología normalizada. A partir de esto, se han desarrollado múltiples indicadores para evaluar la calidad del agua en diversos cuerpos superficiales y subterráneos, entre ellos, el índice de calidad del agua desarrollado por Brown *et al.* (1970) el cual es una versión más estructurada del ICA. En 1976 se formula un nuevo índice basado en el NSF-WQI por el Departamento Escocés de Desarrollo de la Investigación utilizado para evaluar la calidad de los cuerpos superficiales. Para los años siguientes, a partir del SRDD-WQI se desarrollaron índices como Bascaron (1979), Steinhart *et al.* (1982), House (1989) y Dálmata (Štambuk-Giljanović 2003). Otros desarrollos fundamentales del ICA, fue el índice canadiense de calidad del agua (CCME 2001), índice de calidad del agua de la Columbia Británica (Zandbergen y Hall 1998), índice de calidad del agua de Oregón (Cude 2001) y el índice de calidad del agua de los arroyos de Florida (Kannel *et al.* 2007). La mayoría de estos modelos, se han desarrollado en razón a la experiencia de expertos y directrices locales, siendo muchos de estos específicos de una región (Sutadian *et al.* 2016). En los últimos años, se desarrolló el Índice de Malasia (Shuhaimi-Othman *et al.* 2007), el Índice de Liou y el Índice de Almeida (Akhtar *et al.* 2021). Lo que ha generado de acuerdo con Uddin *et al.* (2021) más de 35 índices que evalúan la calidad de

los cuerpos de agua, de los cuales el 82% se han empleado para ecosistemas de ríos donde los modelos CCME y NSF tienen más del 50% de aplicación.

Sin embargo, en Colombia a partir del año 2000, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) ha llevado a cabo el Estudio Nacional del Agua, en el cual, el monitoreo de la calidad del agua se realiza bajo la inspección de parámetros físicos y químicos, empleando así por primera vez el ICA en sus cuencas hidrográficas, un índice poco usado en el monitoreo de los impactos generados por los vertimientos de aguas residuales urbanas y cuencas fluviales (Samboni *et al.* 2011). En este caso, la Política Nacional de Gestión Integral de los Recursos Hídricos (PNGIRH) de Colombia estableció en uno de sus objetivos el monitoreo de la calidad del agua reconociendo al recurso como vulnerable y finito. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar la calidad del agua en una sección del arroyo El Gallinazo mediante el índice ICA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El arroyo El Gallinazo es parte de la microcuenca que lleva el mismo nombre, la cual pertenece a la cuenca de la Quebrada Buturama; este tramo se encuentra dentro de la zona periférica sureste del casco urbano del municipio de Aguachica, Cesar (Figura 1). El tramo alto colinda con un sistema de humedal pantanoso que vierte sus aguas en dicho cauce, las cuales desembocan en el río Magdalena (Saldaña-Escorcía *et al.* 2022).

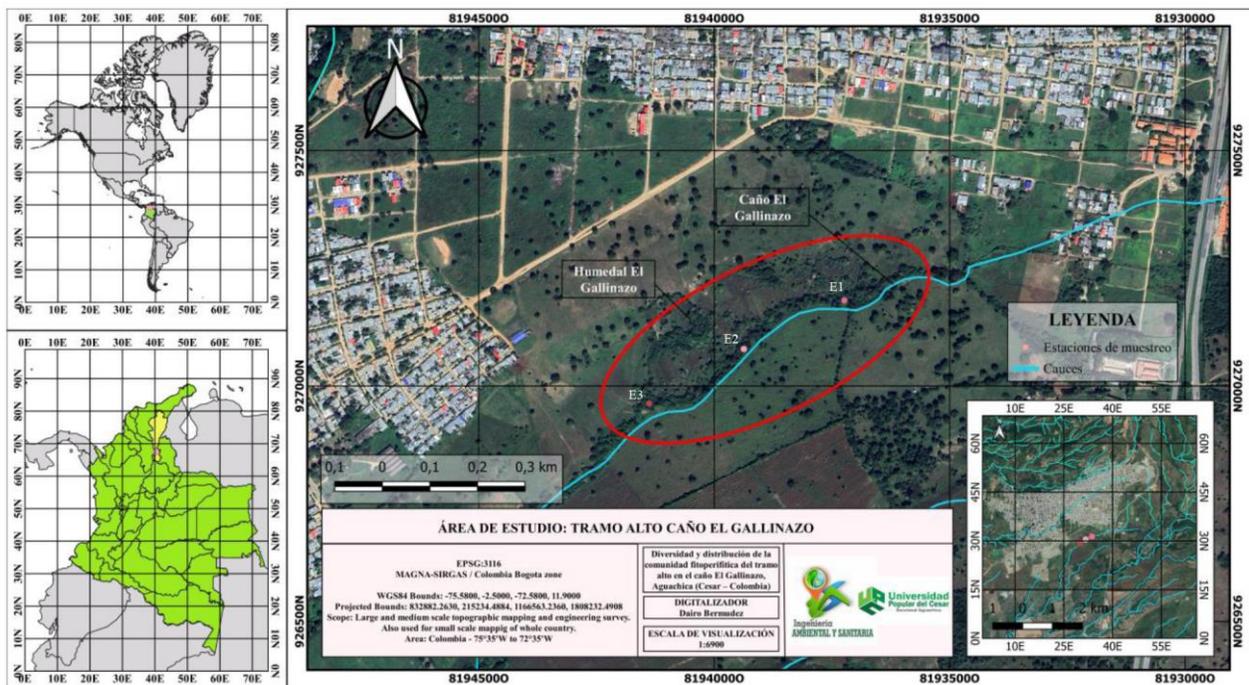


Figura 1. Área de estudio

Procedimiento de muestreo y análisis

Para el análisis de los parámetros físicos y químicos se recolectaron cuatro muestras, dos en periodos de sequía (diciembre 2022 – marzo 2023) y dos en periodo de lluvia (noviembre 2022 – abril 2023). Las tres estaciones de muestreo (Figura 1) se seleccionaron en base a la facilidad de acceso, condiciones geográficas y representatividad en distribución espacial del cauce; las coordenadas fueron tomadas por medio de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, Garmin Gpsmap 64x).

La temperatura, el pH, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto (OD) fueron tomados *in situ* mediante instrumentos calibrados y específicos (Tabla 1). Por otro lado, para los parámetros como DQO, DBO y fosfatos se recolectaron muestras en contra la corriente en botellas de polipropileno lavadas y esterilizadas con capacidad de 1 000 y 500 mL de acuerdo con el manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua (INS 2011); para su procesamiento en laboratorios certificados por IDEAM.

Tabla 1. Parámetros físicos y químicos

Variable	Unidades	Instrumentos	Modelo	Técnica
pH	-	Potenciómetro	HI 98191	SM 4500 H+B
Temperatura del agua (T)	°C	Termómetro	HI 98193	SM 2250 B
Conductividad	µS cm ⁻¹	Conductímetro	HI 9835	SM 2510 B
Oxígeno disuelto (OD)	% Saturación	Oxímetro	HI 98193	SM 4500 OC
Turbidez	NTU	Turbidímetro	HI 93414	SM 2130 B
Fosfatos	mg L ⁻¹ PO ₄ ³⁻			FM 4500 PD
DBO	mg O ₂ L ⁻¹	Espectrofotómetro	DR6000	SM 5219 B
DQO	mg L ⁻¹			SM 5220 B

Índice de calidad del agua (ICA)

Para Colombia, conforme al IDEAM (2021), el ICA se representa mediante un valor numérico que clasifica la calidad del agua de una corriente superficial en una de cinco categorías. En esencia, proporciona información sobre las condiciones físicas, químicas y microbiológicas de un cuerpo de agua, al mismo tiempo que detecta problemas de contaminación mediante el empleo de cálculos basados variables consideradas por el ICA, que se representa con la siguiente ecuación:

$$ICA_{njt} = \left(\sum_{i=1}^n W_i * I_{ikjt} \right)$$

Donde: ICA_{njt} se refiere al Índice de calidad del agua en una corriente superficial específica, en la estación de monitoreo de calidad del agua j durante el tiempo t, siendo evaluado a partir de n variables; W_i representa el ponderador o peso relativo asignado a cada variable de calidad i; y I_{ikjt} indica el valor calculado de la variable i obtenido al aplicar la curva funcional (ecuación) en la estación de monitoreo j, registrado durante la medición realizada en el trimestre k del período t; la variable n representa el número de variables de calidad consideradas en el cálculo del indicador.

Se utilizaron siete parámetros (Tabla 2) para determinar el ICA en las tres estaciones de muestreos seleccionadas a lo largo del tramo alto del arroyo El Gallinazo; ya que estos parámetros son importantes para calcular el índice de calidad del agua para diferentes propósitos.

Tabla 2. Calificación de la calidad del agua (IDEAM 2020)

Variable	Unidad de medida	Ponderación
Oxígeno Disuelto - OD	% Saturación	0.17
DBO	mg O ₂ L ⁻¹	0.10
Turbidez	NTU	0.08
pH	Unidades de pH	0.12
Conductividad	μS cm ⁻¹	0.17
Cambio T°C	°C	0.10
Fosfatos	mg L ⁻¹	0.10

En la interpretación del ICA, los valores potenciales que puede asumir este indicador han sido categorizados bajo los lineamientos del IDEAM, y según estos, se evalúa la calidad del agua de las corrientes superficiales, a los cuales se les ha asignado un código de color como indicador visual, como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3. Calificación de la calidad del agua (IDEAM 2020)

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0.00 – 0.25	Muy mala	Rojo
0.26 – 0.50	Mala	Naranja
0.51 – 0.70	Regular	Amarillo
0.71 – 0.90	Aceptable	Verde
0.91 – 1.00	Buena	Azul

RESULTADOS

Parámetros físicos y químicos

Los parámetros analizados tienen valores que no superan los límites permisibles de contaminación establecidos bajo la Resolución 631 de 2015 de Colombia. El OD presentó un rango entre 39.22 y 83.60 (Valor promedio de 62.71 ± 16.81% Saturación). Para la demanda biológica de oxígeno (DBO) el rango se encuentra entre un valor mínimo de 1 mg O₂ L⁻¹ y máximo de 60 mg O₂ L⁻¹, con media de 11.08 ± 18.66 mg O₂ L⁻¹. Además, la demanda química de oxígeno (DQO) tuvo un rango entre 1 y 240 mg L⁻¹ con media de 57.58 mg L⁻¹, y SD = 68.96 mg L⁻¹; dado a esto, poseen una correlación negativa con el OD como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Correlación entre las propiedades físicas y químicas analizadas

Propiedad	OD	DBO	DQO	Turbiedad	Temperatura	pH	Conductividad	Fosfatos
OD	1.00	(p = 0.009)**	(p = 0.032)*	(p = 0.055).	(p = 0.103).	(p = 0.237)	(p = 0.541)	(p = 0.174)
DBO	-0.70	1.00	(p = 0.000)***	(p = 0.442)	(p = 0.829)	(p = 0.281)	(p = 0.567)	(p = 0.148)
DQO	-0.60	0.98	1.00	(p = 0.609)	(p = 0.623)	(p = 0.366)	(p = 0.505)	(p = 0.094).
Turbiedad	0.53	-0.24	-0.16	1.00	(p = 0.108)	(p = 0.121)	(p = 0.022)*	(p = 0.746)
Temperatura	-0.53	-0.07	-0.16	-0.49	1.00	(p = 0.985)	(p = 0.586)	(p = 0.453)
pH	-0.37	0.34	0.29	0.47	0.01	1.00	(p = 0.015)*	(p = 0.372)
Conductividad	-0.16	0.18	0.21	-0.65	0.17	-0.68	1.00	(p = 0.292)
Fosfatos	-0.43	0.44	0.50	0.10	0.24	0.28	0.33	1.00

Método de correlación: Pearson, *Nivel de significancia de la correlación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.

Por otro lado, los valores de temperatura muestran un mínimo de 20.3 °C y máximo de 27°C con promedio de 22.36 ± 2.15 °C; este parámetro puede influir en la solubilidad del oxígeno, así como la tasa de biodegradación orgánica de los materiales. Como se evidencia en la Tabla 4, que muestra que la temperatura es tiene correlación negativa con el OD. De igual forma, dicha tabla muestra que el fosfato posee correlación positiva con la DBO y la DQO, pero negativa con el OD; este parámetro posee un rango entre 0.02 y 1.07 mg L⁻¹ con promedio de 0.41 ± 0.30 mg L⁻¹. La conductividad presento un mínimo de 126.3 μS cm⁻¹ y máximo de 223 μS cm⁻¹ con media de 173.05 μS cm⁻¹, y SD de 37.41 μS cm⁻¹, mientras que la turbiedad tuvo un rango entre 1.33 y 56.82 NTU con promedio de 14.41 ± 18.50 NTU; estos parámetros poseen una relación inversamente proporcional. El pH posee un mínimo de 5.9 y máximo de 7.6 con promedio de 6.96 ± 0.58 unidades de pH, este rango indica que el agua se mantiene en un rango ligeramente ácido a neutro.

En la Figura 2, se observa que ciertos parámetros presentan datos atípicos, puesto que los bigotes se encuentran fuera del rango intercuartílico, entre estos, DQO, DBO, la conductividad y turbiedad del agua en las estaciones de muestreo, indicando que hay algunas estaciones del año en las que la calidad del agua puede empeorar.

Índice de calidad del agua (ICA)

El primer y segundo muestreo (M1, M2) tuvieron un promedio de 0.48 puntos dentro del ICA (Figura 3b), lo que indica mala calidad del agua; mientras que la estación dos (E2) alcanzó un máximo de 0.50 del M1 y en la estación tres (E3) del M2 (Figura 3a). Por otro lado, durante el tercer (M3) y cuarto muestreo (M4) el promedio bajó un punto dentro del rango del ICA (Figura 3a). Durante el periodo de sequía (marzo 2023) se evidenció el valor más bajo (0.42) en la primera estación (E1) de ambos muestreos (Figura 3b). No obstante, en la E2 y E3 del M4 el valor del ICA supero el valor máximo del periodo de lluvia (abril 2023) con 0.53; manteniendo aun así una calificación mala dentro del rango del ICA (Figura 3a).

Del mismo modo, el M2 presenta el ICA promedio más alto (aproximadamente 0.48), mientras que M3 tiene el promedio más bajo (alrededor de 0.43) (Figura 3b). Además, la variabilidad en las mediciones se refleja en los diferentes valores obtenidos en cada estación. Por ejemplo, en el M4, se observa una mayor variabilidad con valores que van desde 0.42 hasta 0.53 (Figura 3a).

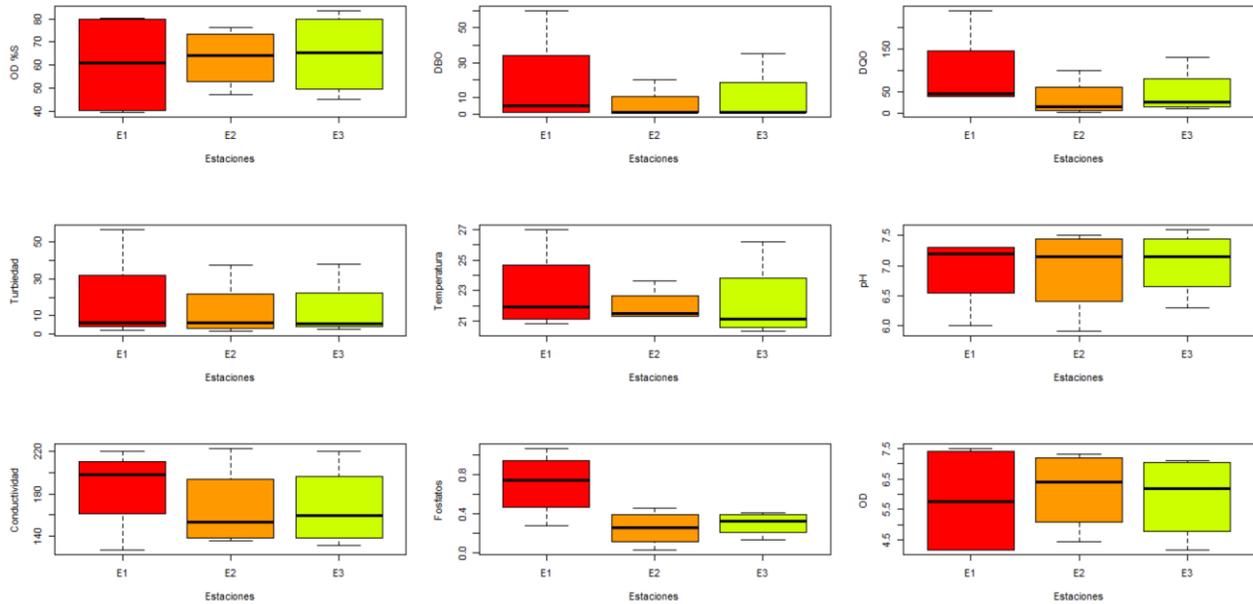


Figura 2. Diagrama de cajas y bigotes para los parámetros de calidad del agua determinados.

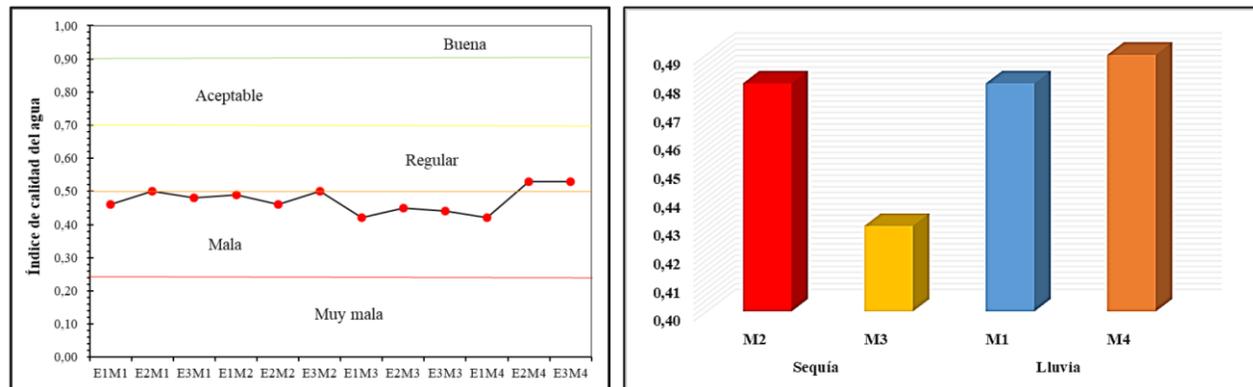


Figura 3. Índice de calidad del agua, a) ICA por estaciones y b) ICA por muestreo/Periodo estacional

DISCUSIÓN

El pH es un parámetro importante para la vida acuática, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes y la toxicidad de algunos contaminantes. Este parámetro muestra una oscilación entre el límite para el desarrollo de los organismos acuáticos, según Rubio *et al.* (2014) el valor natural del pH del agua tiene un rango entre 6.5 y 8.5; fuera de este rango ocasiona estrés a los organismos y la muerte de los mismos. En el caso de OD presento un rango de variación relativamente amplio, y es un parámetro importante para la vida acuática, ya que es fundamental para la variación y supervivencia de los organismos (Ibana-Lopez *et al.* 2021). Es así, que la influencia de la época de sequía (muestreo de marzo 2023) y los vertimientos agropecuarios (monocultivos y ganadería) en la zona contribuyeron a la acidez del agua; viéndose reflejada en la E2. En este tipo de situaciones la variación amplia de los parámetros indica que la calidad del agua puede variar en diferentes

puntos del cuerpo de agua. Por lo cual, se deben ejecutar mediciones periódicas para evaluar las tendencias de pH a lo largo del tiempo para identificar patrones y posibles causas subyacentes (Avelar-Roblero *et al.* 2023).

Asimismo, la capacidad del agua para retener oxígeno disuelto disminuye a medida que aumenta la temperatura. Esto se debe a que el agua se calienta debido a la radiación solar tiene una menor solubilidad de gases, incluido el oxígeno. Este comportamiento se refleja en una correlación negativa moderada entre OD y temperatura, como se muestra en la Tabla 4. Este tipo de correlación no es fácil de explicar, por lo que es una explicación parcial, ya que las variaciones diurnas de oxígeno no son simplemente una función de la intensidad de la luz solar, sino que dependen de una combinación de factores complejos (Muñoz *et al.* 2015). De igual manera, el OD tienen correlación negativa fuerte con otros parámetros, entre ellos, la DQO y DBO; puesto que a una mayor carga orgánica consume más oxígeno para la degradación de estos compuestos, lo que reduce la cantidad de oxígeno disponible para otros procesos biológicos y químicos en el agua (Salih *et al.* 2021).

Por otro lado, la DBO y la DQO presentan valores elevados, lo que indica que hay una cantidad significativa de materia orgánica presente en el agua (Sharma *et al.* 2020). Esto se debe a factores sociodemográficos como la contaminación por vertimientos de aguas residuales, siendo esta la principal causa dado a que la población aledaña no cuenta con conexión a la red de alcantarillado. Asimismo, hay presencia de agricultura (maíz y yuca) así como actividad ganadera (bobina, bufalina y equina) en las zonas circundantes a la sección del arroyo estudiado (Saldaña-Escorcía *et al.* 2022). En tercer lugar, los valores bajos de turbiedad (1.33 NTU) pueden reflejar condiciones relativamente limpias y estables, mientras que los valores altos (56.82 NTU) pueden ser indicativos de eventos de contaminación. Esto también podría deberse a factores como la contaminación por aguas residuales, la agricultura, o la ganadería que alteran la calidad del agua (Ruiz-Chugden 2021).

Del mismo modo, la presencia de fosfatos en el agua puede provenir de diversas fuentes, como el uso de fertilizantes agrícolas, detergentes y vertimientos puntuales de aguas residuales en la zona, lo que a su vez aumenta la DBO y DQO, y muestra la correlación directa, así mismo, indica que a una mayor concentración de fosfatos se asocia con mayor conductividad del agua (Gómez-Castañeda *et al.* 2021, Bolaños-Alfaro *et al.* 2017). El aumento en la concentración de estos parámetros puede ser causado por una serie de factores, incluyendo el uso de fertilizantes en las áreas circundantes, el vertido de aguas residuales de origen doméstico o industrial y la erosión del suelo.

La Figura 3a-b, muestra la clasificación de la calidad del agua del tramo alto del arroyo el Gallinazo, los resultados del ICA presentaron un rango entre 0.42 – 0.53 (promedio: 0.47), indicado que la calidad del agua es mala. De igual forma, la estación con mayor influencia de las zonas periurbanas fue la estación 1 (E1), la cual mantuvo una calidad del agua mala indiferentemente de la temporada de muestreo (Las lluvias pueden arrastrar contaminantes hacia los cuerpos de agua, mientras que las sequías pueden concentrar los contaminantes presentes), mostrando que los procesos de autodepuración del cuerpo de agua son ineficientes, así mismo, se mantiene dicha influencia en la segunda estación de muestreo (E2). No obstante, para la última estación (E3) la calidad, aunque se

oscila entre mala y regular se ve influenciada por condiciones naturales más favorables (agua que entra al cauce principal proveniente del humedal circundante a la sección) lo que ayuda a la depuración de los compuestos orgánicos disminuyendo su carga contaminante (Trujillo-Zapata *et al.* 2021). Cabe resaltar que la disminución de este punto de muestreo no supera el rango regular dado a las actividades antrópicas dentro del perímetro de la ronda hídrica, como las excretas de la ganadería, aguas residuales agrícolas, así como residuos de lavandería dado a que la población de bajos recursos emplea el cauce como zona de lavado (Hernandez-Alvarez *et al.* 2021).

CONCLUSIONES

Los resultados indican que la calidad del agua en el tramo alto del arroyo El Gallinazo está comprometida, con una condición de calidad mala, aunque hay estaciones y períodos del año (Época de lluvia o sequía) en los que la calidad del agua puede ser mejor. El comportamiento de los parámetros analizados está directamente relacionado con los determinantes ambientales, sociales o económicos que se desarrollan en la zona circundante. El agua según el ICA no es aceptable para fines humanos, pero sí para uso agropecuario o ambiental dado a que los parámetros se mantienen en los límites permisibles. La comprensión y gestión de estos factores es crucial para mantener la calidad del agua y proteger los ecosistemas acuáticos.

AGRADECIMIENTOS

A los semilleros de investigación Cesar Biodiverso y Sostenible -CEBIOSOST y Ambiente, Economía y Desarrollo Social - ESOE adscritos al programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, así como al grupo de investigación en Gestión Ambiental y Territorios Sostenibles - GE&TES de la Universidad Popular del Cesar [seccional Aguachica] por el apoyo en el desarrollo de la investigación, al igual que los pares y/o revisores por los comentarios para mejorar el documento.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

- Akhtar N, Ishak MIS, Ahmad MI, Umar K, Md-Yusuff MS, Anees MT, Qadir A, Ali-Almanasir YK (2021) Modification of the water quality index (WQI) process for simple calculation using the multi-criteria decision-making (MCDM) method: A review. *Water* 13(7): 905. <https://doi.org/10.3390/w13070905>
- Al-Ridah ZA, Naje AS, Hassan DF, Al-Zubaid HAM (2021) Environmental assessment of groundwater quality for irrigation purposes: A case study of Hillah City in Iraq. *Pertanika Journal of Science and Technology* 29(3): 1579-1593. <https://doi.org/10.47836/pjst.29.3.10>

- Avelar-Roblero JU, Ortega-Escobar HM, Mancilla-Villa OR, Gardezi AK, Mendoza-Saldivar I, Sánchez-Bernal EI, Can-Chulim Á (2023) Variación de la calidad del agua en el cauce principal de la cuenca del río Pánuco. *Terra Latinoamericana* 41: e1601. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1601>
- Bascaron M (1979) Establishment of a methodology for the determination of water quality. *Boletín Informativo del Medio Ambiente* 9: 30-51.
- Bolaños-Alfaro JD, Cordero-Castro G, Segura-Araya G (2017) Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología en Marcha* 30(4): 15-27. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Brown RM, McClelland NI, Deininger RA, Tozer RG (1970) A water quality index: Do we dare? *Water and Sewage Works* 117: 339-343.
- Burt TP, Howden NJK, Worrall F (2016) The changing water cycle: hydroclimatic extremes in the British Isles. *WIREs Water* 3(6): 854-870. <https://doi.org/10.1002/wat2.1169>
- CCME (2001) Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, Technical Report. In: Guidelines and Standards Division (eds). *Canadian Environmental Quality Guidelines*. Canadian Council of Ministers of the Environment. Winnipeg, Canada. pp. 1-13.
- Castro M, Almeida J, Ferrer J, Diaz D (2014) Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria* 10(17): 111-124. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- Cude CG (2001) Oregon water quality index: A tool for evaluating water quality management effectiveness. *Journal of American Water Resources Association* 37(1): 125-137.
- Gómez-Castañeda DC, García-Corredor DF, Reyes-Garavito GK, Lache-Aparicio JR, Vega-Garzon LP (2021) Análisis de perfiles espacio temporales de parámetros físico-químicos de la calidad del agua en la laguna de Fúquene, Cundinamarca. *Ingenio Magno* 11(2): 8-28.
- Hernandez-Alvarez U, Pinedo-Hernandez J, Paternina-Uribe R, Marrugo-Negrete JL (2021) Evaluación de calidad del agua en la Quebrada Jui, afluente del río Sinú, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 24(1): e1678. <https://doi.org/10.31910/rudca.v24.n1.2021.1678>
- Horton R K (1965) An index number system for rating water quality. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 37(3): 303-306.
- House M A (1989) A Water Quality Index for river management. *Water and Environment Journal* 3(4): 336-344. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.1989.tb01538.x>
- Ibana-Lopez K, Sihuay-Perales M, Garate-Quispe J, Araújo-Florez J, Herrera-Machaca M, Alarcón Aguirre G, Rodriguez-Achata L (2021) Contaminación de agua superficial de la periferia urbana de Puerto Maldonado, al sureste de la amazonia peruana. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 32(6): e20365. <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i6.20365>
- IDEAM (2021) Hoja metodológica del Índice de calidad del agua. 12p. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales <https://www.car.gov.co/uploads/files/64110bfcd9711.pdf>. Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2023.
- INS (2011) Manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio. Instituto Nacional de Salud. https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin/SIVICAP/2011_Manual_toma_de_muestras_agua.pdf. Fecha de consulta: 10 de octubre de 2022.
- Kannel PR, Lee S, Lee YS, Kanel SR, Khan SP (2007) Application of water quality indices and dissolved oxygen as indicators for river water classification and urban impact assessment. *Environmental Monitoring and Assessment* 132(1-3): 93-110. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9505-1>
- Mishra M, Singhal A, Srinivas R (2023) Effect of urbanization on the urban lake water quality by using water quality index (WQI). *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.357>
- Mohammed I, Hashim Al-Khalaf SK, Alwan HH, Samir Naje A (2022) Environmental assessment of Karbala

- water treatment plant using water quality index (WQI). *Materials Today: Proceedings* 60: 1554-1560. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.065>
- Muñoz H, Orozco S, Vera A, Suárez J, García E, Nería M, Jiménez J (2015) Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Tecnología y Ciencias del Agua* 6(5): 59-74.
- Rubio AHO, Ortiz DRC, Quintana MRM, Saucedo TRA, Ochoa RJM, Rey BNI (2014) Índice de calidad de agua (Ica) en la Presa La Boquilla en Chihuahua, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 1(2): 139-150. <https://doi.org/10.19136/era.a1n2.162>
- Ruiz-Chugden SM (2021) Calidad de agua de la microcuenca Lluhca, Amazonas, Perú. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería* 3(3): 15. <https://doi.org/10.25127/ucni.v3i3.631>
- Salih SQ, Alakili I, Beyaztas U, Shahid S, Mundher-Yaseen Z (2021) Prediction of dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, and chemical oxygen demand using hydrometeorological variables: Case study of Selangor River, Malaysia. *Environment, Development and Sustainability* 23: 8027-8046. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00927-3>
- Saldaña-Escorcía R, Otalvarez-Herrera R, Herrera Galviz JD (2022) Oferta hídrica superficial mediante el método lluvia-escorrentía, caso de estudio humedal el Gallinazo, Aguachica (Cesar – Colombia). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 14(1): 221–249. <https://doi.org/10.22490/21456453.5959>
- Samboni N, Reyes Trujillo A, Carvajal Y (2011) Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. *Ingeniería y Competitividad* 13(2): 49-60. <https://doi.org/10.25100/iyc.v13i2.2674>
- Shuhaimi-Othman M, Lim EC, Mushrifah I (2007) Water quality changes in Chini Lake, Pahang, West Malaysia. *Environmental Monitoring and Assessment* 131(1/3): 279-292. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9475-3>
- Štambuk-Giljanović N (2003) Comparison of dalmatian water evaluation indices. *Water Environment Research* 75(5): 388-405. <https://doi.org/10.2175/106143003X141196>
- Steinhart CE, Schierow L, Sonzogni WC (1982) An environmental quality index for the Great Lakes. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 18(6): 1025-1031. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1982.tb00110.x>
- Sutadian AD, Muttill N, Yilmaz AG, Perera BJC (2016) Development of river water quality indices- A review. *Environmental Monitoring and Assessment* 188(1): 58. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-5050-0>
- Trujillo-Zapata SA, Cortés-Orozco CP, Vinasco-Guzmán MC, Ortega-Astudillo JD, Cruz-Ospina CA (2021) Evaluación de la calidad del agua en la fuente abastecedora de Pitalito – Huila: Río Guachicos y sus afluentes principales, utilizando los índices de contaminación e índice de calidad de agua. *Gestión y Ambiente* 23(2): 182-192. <https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.83600>
- Uddin MG, Nash S, Olbert AI (2021) A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators* 122: 107218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>
- Zandbergen PA, Hall KJ (1998) Analysis of the British Columbia water quality index for watershed managers: A case study of two small watersheds. *Water Quality Research Journal of Canada* 3: 519-549.