

Aplicación del Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA) en la evaluación de calidad del agua en el río Ocloro, San José, Costa Rica

Application of the Simplified Water Quality Index (ISQA) in water quality assessment in the Ocloro River, San José, Costa Rica

Elena Chaves-Chaves¹

Fecha de recepción: 23 de enero, 2024
Fecha de aprobación: 6 de mayo, 2024

Chaves-Chaves, E. Aplicación del Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA) en la evaluación de calidad del agua en el río Ocloro, San José, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 38, N° 1. Enero-Marzo, 2025. Pág. 59-67.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v38i1.7027>

¹ Escuela de Ingeniería Topográfica, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
 elena.chaveschaves@ucr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-2914-2198>

Palabras clave

Agua; calidad del agua; contaminación; deterioro ambiental; indicador.

Resumen

El agua desempeña un papel crucial en el desarrollo de la vida y está intrínsecamente vinculada al progreso económico y social de una comunidad. Por ello, se requiere contar con agua de calidad. En la evaluación de la calidad del agua es necesario comprender sus condiciones físicas, químicas y biológicas para garantizar su idoneidad según el uso previsto. El propósito de este artículo es presentar los resultados de la evaluación de la calidad de agua del río Ocloro, situado en la provincia de San José mediante la aplicación del Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA), el cual utiliza los indicadores de temperatura, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), demanda química de oxígeno (DQO), y sólidos totales disueltos (SST), mismos que fueron medidos en cinco puntos colocados a lo largo del cauce. Se concluye que el río Ocloro presenta un alto nivel de contaminación y su ecosistema sufre daños severos. Estos hallazgos, sin duda, tienen repercusiones significativas en el desarrollo y la calidad de vida de las comunidades cercanas a su área de influencia.

Keywords

Water; water quality; pollution; environmental degradation; indicator.

Abstract

Water has an essential role in the development of life. Therefore, it is associated to the economic and social progress of communities. Hence, it is necessary to have water quality. Water analysis is required to understand its physical, chemical, and biological conditions according to the final use. This article presents the findings of the water quality assessment using the Simplified Water Quality Index (ISQA) on the Ocloro River located in the San José. The indicators that ISQA apply are temperature, dissolved oxygen (OD), electrical conductivity (CE), chemical oxygen demand (DQO), and total dissolve solids (SST). The indicators were measured in five points along the river. As a result, the Ocloro river manifests a significantly high pollution and environmental degradation level. These observations have significant repercussions on the development and quality of life for communities near its area of influence.

Introducción

El agua es un elemento vital para el desarrollo de la vida de cualquier especie del planeta. Es por esa razón que el establecimiento de los asentamientos humanos a lo largo de la historia gira en torno a alguna fuente de agua bebible[1]. Precisamente, esa estrecha relación ha generado una fuerte presión sobre el recurso hídrico debido al deterioro de los diferentes ecosistemas asociados.

El desarrollo económico y bienestar social están estrictamente asociados a la calidad del agua de la que se dispone, puesto que de ella deriva el equilibrio de los sistemas ecológicos, el control alimentario, actividades agropecuarias y servicios ambientales, por citar algunos elementos concretos. [2]–[4].

Asimismo, contar con agua de alta calidad se vincula directamente a indicadores de salud y crecimiento económico, influyendo así en el bienestar humano y el desarrollo sostenible[5]. En consecuencia, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha incorporado el objetivo de

Agua Limpia y Saneamiento dentro de sus metas de desarrollo sostenible. Dada su repercusión en la salud, la economía y ante los desafíos del cambio climático, se ha establecido la meta global de garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para el año 2030 [6].

A partir de lo anterior, se puede inferir que conocer la calidad de un cuerpo de agua es indispensable. No obstante, este proceso es arduo ya que implica la evaluación de las condiciones físicas, químicas y biológicas existentes en el sitio de estudio en concordancia con el uso final que se le vaya dar al recurso [7], [8].

En el caso particular de los ríos, el análisis de la calidad de agua es complejo, dada la dinámica constantemente cambiante del ecosistema, por lo que normalmente se recurre a la implementación indicadores e índices como mecanismo de simplificación en el análisis e interpretación de los datos obtenidos a partir del muestreo [9].

Un indicador de calidad de agua es un parámetro que brinda información respecto al estado del agua que se está valorando, por lo que éste debe ser seleccionado con gran responsabilidad de manera que realmente contribuya con la información necesaria y pertinente al objetivo de la investigación [4], [10].

Para sintetizar la información proveniente de los indicadores se implementan los índices ya que condensan varias variables en un solo valor, lo que facilita la interpretación de los datos y, por ende, proporciona una visión clara de la situación y tendencia de un cuerpo de agua específico. En ese sentido, los indicadores deben de ser transformados una sola escala [5], [7].

Uno de los índices aplicables a ríos o ambientes lóticos es el *Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA)*, desarrollado en 1982 por Qeral, en España. Este utiliza indicadores como la temperatura, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), demanda química de oxígeno (DQO), y sólidos totales disueltos (SST). Permite obtener resultados de manera eficiente, minimizando el tiempo y los recursos necesarios [9], [11], [12].

El objetivo que se expone en este artículo es mostrar los resultados obtenidos en evaluación de la calidad de agua del río Ocloro, situado en la provincia de San José tras aplicar el ISQA.

Con respecto a la calidad de las aguas del río Ocloro, este pertenece a una de las cuatro cuencas más contaminadas del país, por lo que es común encontrar vertidos domésticos e industriales, acumulación de basura y objetos de gran tamaño que contribuyen a una condición deteriorada y generan un impacto negativo en el entorno circundantes [13]–[15].

Materiales y métodos

La zona de estudio se concentra en el río Ocloro ubicado en la provincia de San José, el cual en su recorrido atraviesa los cantones de Montes de Oca, Curridabat y Zapote, donde se han establecido cinco puntos de muestreo tal y como se muestra en la figura 1.

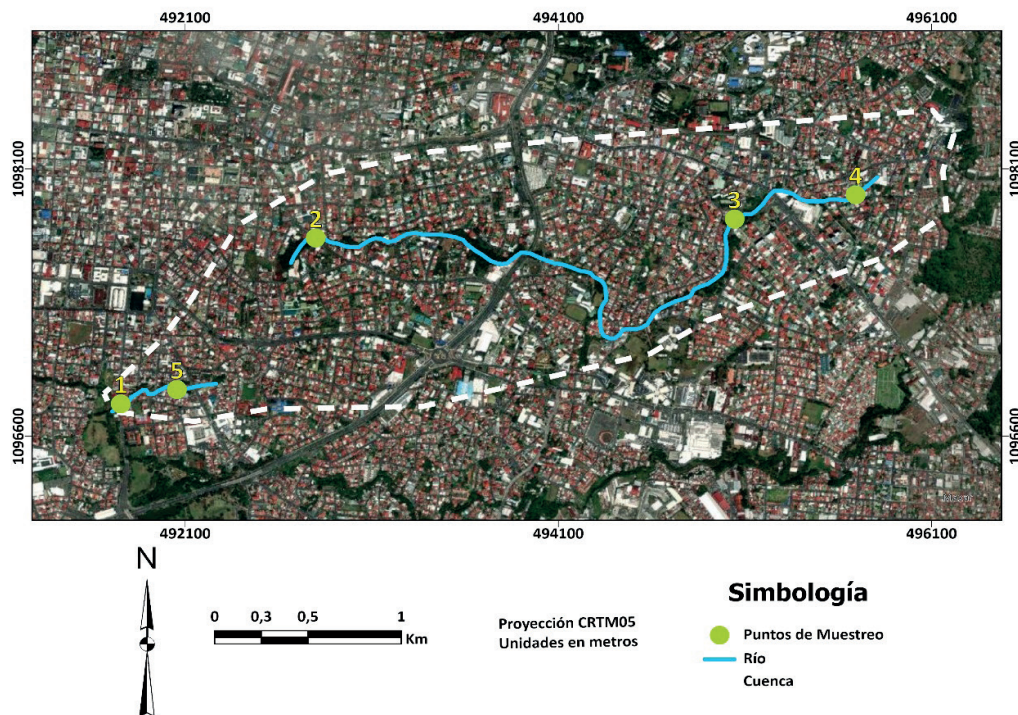


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio y puntos de muestreo.

Las campañas de muestreo que se han llevado a cabo son las siguientes:

Cuadro 1. Campañas de muestreo río Ocloro, San José.

Muestreo	Época Seca	Época Lluviosa
Campaña 1	02 de febrero 2021	29 de octubre 2021
Campaña 2	24 de mayo 2022	13 de octubre 2022
Campaña 3	12 de Abril 2023	

Los materiales utilizados para las diferentes campañas de muestreo son: botellas plásticas, guantes, hieleras, etiquetas y medidor multiparámetro HANNA HI9829 para la medición directa de aquellos variables sensibles como la temperatura y oxígeno disuelto.

Para todas las campañas de medición se utilizaron los puntos de muestreo que se observan en la figura 1. Se recolectó una botella de aproximadamente 2 litros de agua y se llevaron a cabo las mediciones en sitio de conformidad con lo establecido en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [16].

El análisis de la calidad de agua del río Ocloro se llevó a cabo mediante la aplicación del *Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA)*, el cual se define mediante la siguiente ecuación base:

$$ISQA = T(A + B + C + D) \quad (1)$$

Donde,

T: depende de la temperatura del río medida en °C.

A: indica la oxibilidad del agua, es decir depende de la DQO en mg/L.

B: se relaciona con la materia suspendida en el agua (SST) medida en mg/L.

C: concentración de oxígeno disuelto en mg/L.

D: mide la concentración de sales inorgánicas (CE), en mg/L [17].

Para la estandarización de cada uno de los indicadores involucrados en el ISQA de acuerdo con la escala que propone, requiere de las siguientes funciones:

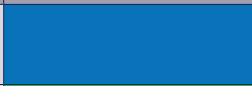




Cuadro 2: Ecuaciones de estandarización ISQA.

Indicador	Función	Ecuación
T	$\begin{aligned} Si T \leq 20 &\rightarrow T = 1 \\ Si T > 20 &\rightarrow T = 1 - (T - 20) * 0,0125 \end{aligned}$	(2)
A	$\begin{aligned} DQO \leq 10 &\rightarrow A = 30 - DQO \\ Si 10 < DQO \leq 60 &\rightarrow A = 21 - (0,35 * DQO) \\ Si 60 < DQO &\rightarrow A = 0 \end{aligned}$	(3)
B	$\begin{aligned} Si SST \leq 100 &\rightarrow B = 25 - (0,15 * SST) \\ Si 250 \geq SST > 100 &\rightarrow B = 16,67 - 0,0667 * SST \\ Si SST > 250 &\rightarrow B = 0 \end{aligned}$	(4)
C	$\begin{aligned} Si O_2 < 10 &\rightarrow C = 2,5 * O_2 \\ Si O_2 \geq 10 &\rightarrow C = 25 \end{aligned}$	(5)
D	$D = 055,42 - 15,38 * \log CE$	(6)

Fuente:[11],[16],[17]

Una vez obtenidos los valores correspondientes a la ecuación 1, su escala de interpretación es la que se muestra a continuación,

Cuadro 3. Interpretación calidad de agua, según escala de ISQA.









Valores del ISQA	Usos	Niveles de calidad	Color de referencia
85-100	Todos los usos	Excelente calidad	
60-85	Agua Potable con tratamientos convencionales	Buena Calidad	
45-60	Riego hortícola, agua industrial y agua potable (tratamiento especial)	Mediana Calidad	
30-45	Riego de plantas sin consumo directo	Mala Calidad	
0-30	Uso muy restringido	Muy mala calidad	

Fuente: [12]

Resultados

Los resultados obtenidos de la aplicación del ISQA en los puntos de muestreo indican niveles agresivos de contaminación en la zona tal y como se puede apreciar en el siguiente cuadro resumen:

Cuadro 4. Clasificación de la calidad de agua, en el río Ocloro, según el ISQA.

Campaña de Muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Campaña 1: Época Seca					
Campaña 1: Época Lluviosa					
Campaña 2: Época Seca					
Campaña 2: Época Lluviosa					
Campaña 3: Época Seca					

Tal y como se puede observar, los niveles de contaminación en el río Ocloro varían entre el nivel de contaminación severa a muy severa de conformidad con lo que establece ISQA.

El oxígeno disuelto es un excelente indicativo del estado del agua ya que su presencia es vital para el desarrollo de seres acuáticos aeróbicos, es decir, en altas concentraciones se tendrá un ambiente propicio para la diversidad de organismos acuáticos, mientras que en bajas cantidades pueden proliferar especies de microorganismos y bacterias anaeróbicas que producen normalmente malos olores y sabores desagradables poco aptos para cualquier tipo de uso [19]. En el caso específico del río Ocloro los valores de oxígeno disuelto no superan los 10mg/l (Figura 2), lo que implica una calidad de agua bastante deteriorada y por lo tanto la inexistencia de un ambiente óptimo para el desarrollo de especies acuáticas aerobias.

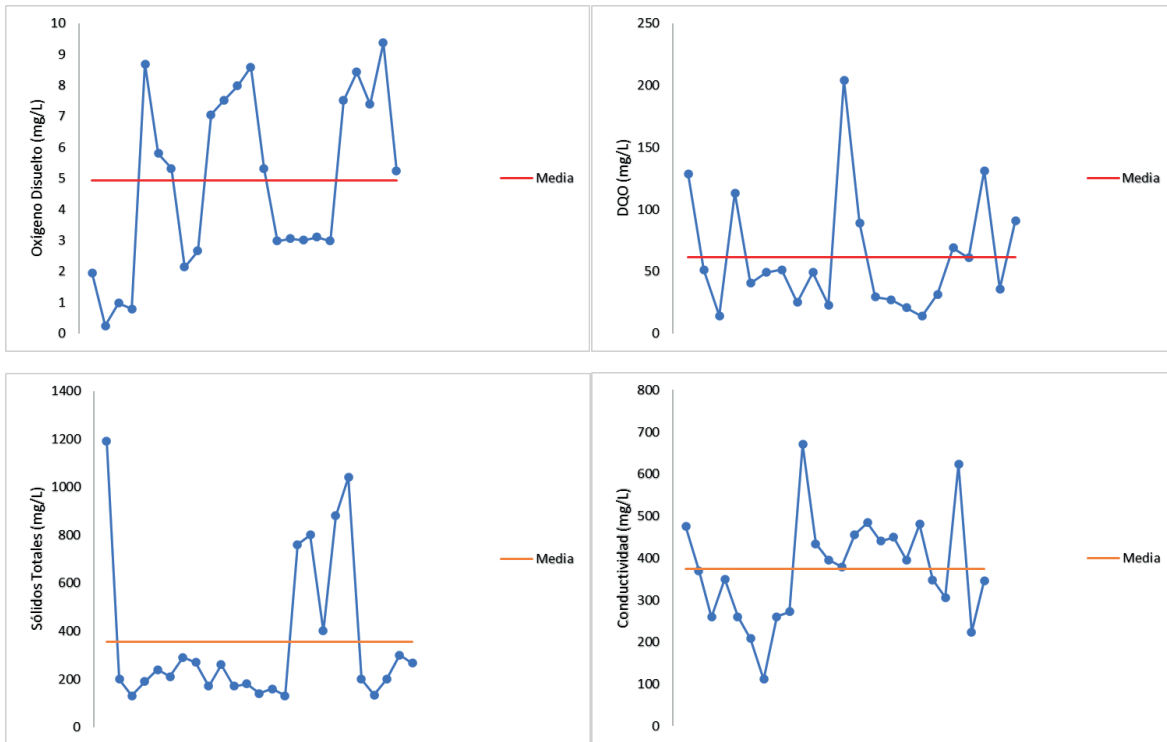


Figura 2. Indicadores del ISQA.

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) refleja la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos descompongan la materia orgánica biodegradable en el agua. Niveles elevados de DQO ejercen un impacto negativo en la calidad del agua y la vida acuática [19]. Según se observa en la Figura 2, las magnitudes de DQO en el río Ocloro son significativamente altos, con valores que superan los 100 mg/L. Destaca un dato máximo de 204 mg/L en el punto de muestreo 4 (San Pedro, Montes de Oca) durante la época seca. Estos valores suelen estar asociados a la descarga de aguas residuales sin tratamiento, situación notoriamente presente en la zona a simple vista. Esta información se alinea con el informe del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, que, mediante un diagnóstico del río María Aguilar, identificó que su principal afluente, el Río Ocloro, es el más contaminado en la cuenca [20].

En el caso de los sólidos totales el muestreo revela una media de 356,4 mg/L, no obstante, se observan valores por encima de los 1000mg/L, esto hace referencia a la materia suspendida o disuelta en el agua normalmente compuesta por minerales, metales y sales, los cuales producen un efecto nocivo en la calidad del cuerpo de aguas debido a que ocasiona turbiedad y favorecen la absorción de calor lo que incrementa la temperatura [20], [21].

Por su parte, el indicador conocido como conductividad eléctrica está vinculado a la concentración de sales en disolución en el agua, las cuales son capaces de transportar la corriente eléctrica [22]. La media de CE obtenida para el río Ocloro ronda los 375,1mg/L.

Finalmente, la temperatura del agua es un indicador que tiene incidencia en procesos como la solubilidad de gases y sales en agua, así como en las reacciones y relaciones biológicas propias del ecosistema [23]. Propiamente en el caso del río Ocloro la temperatura promedio registrada en las muestras fue de 21,7°C. Según el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, el rango de temperatura es de 18 a 30 °C, por lo que valor se encontraría dentro de lo esperado [24], sin embargo se registraron mediciones de 19, 67 °C durante la época de verano en el punto 1, por lo que debe de mantenerse vigilado este parámetro.

Según el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Aguas Superficiales, con los valores promedio que se tienen de sólidos totales, DQO y turbiedad, el río puede ser catalogado como clase 5, es decir utilizable únicamente para navegación y generación hidroeléctrica [25], usos que sin duda por las características del sitio no son factibles. Dicha categorización deja en evidencia las condiciones negativas en las que se encuentran las aguas que escurren por el Ocloro y el evidente riesgo a la salud de quienes habitan en las zonas aledañas las cuales a su vez se recurrentemente se ven afectadas por inundaciones.

Conclusiones y recomendaciones

El ISQA, al integrar cinco indicadores de gran relevancia, proporciona una visión integral del estado de la calidad del agua. De los datos obtenidos durante las campañas de muestreo, se observa que los valores tienen a empeorar en la época seca ya que la ausencia de lluvias no permite la disolución y movilización de los contaminantes, lo que produce incluso la presencia de malos olores en las zonas aledañas al cauce del río lo que puede ser perjudicial para la salud de quienes viven cerca.

En general, con los resultados del ISQA las aguas del río Ocloro son catalogadas como de mala calidad o muy mala calidad lo que restringe su uso y refleja la problemática ambiental existente en el sitio. Asimismo, en una revisión a los parámetros establecidos como complementarios en el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Aguas Superficiales la clasificación corresponde a la Clase 5 que de igual manera se asocia a aguas altamente contaminadas.

La DQO, que revela la presencia de contaminación orgánica originada por residuos industriales y domésticos en el río Ocloro, lo que también se evidencia con las bajas concentraciones de oxígeno disuelto. La mala gestión de las aguas residuales en las ciudades que se encuentran alrededor produce efectos perjudiciales en la vida acuática y el ecosistema, lo que repercute sin duda en la calidad de vida de sus habitantes. Es urgente un abordaje integral del problema de contaminación de manera que se concientice a todos los actores involucrados sobre la necesidad e importancia de una correcta gestión de los residuos.

Referencias

- [1] C. Sierra-Ramírez, *Calidad de Agua*, Primera. Medellín: Digiprint Editores E.U., 2011.
- [2] S. Gyawali, K. Techato, C. Yuangyai, and C. Musikavong, "Assessment of Relationship between Land uses of Riparian Zone and Water Quality of River for Sustainable Development of River Basin, A Case Study of U-Tapao River Basin, Thailand," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 17, pp. 291–297, 2013, doi: 10.1016/j.proenv.2013.02.041.
- [3] M. . Jurado and I. . Mercado, "Revisión sistemática de técnicas no convencionales para la evaluación de la calidad del agua de ríos contaminados con plaguicidas," *Entre Cienc. e Ing.*, no. 21, pp. 56–65, 2017, [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/ecei/v11n21/1909-8367-ecei-11-21-00056.pdf>.
- [4] W. Ocampo-Duque, C. Osorio, C. Piamba, M. Schuhmacher, and J. L. Domingo, "Water quality analysis in rivers with non-parametric probability distributions and fuzzy inference systems: Application to the Cauca River, Colombia," *Environ. Int.*, vol. 52, pp. 17–28, Feb. 2013, doi: 10.1016/j.envint.2012.11.007.
- [5] J. A. Villena Chávez, "Calidad del agua y desarrollo sostenible," *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Publica*, vol. 35, no. 2, p. 304, Jun. 2018, doi: 10.17843/rpmpesp.2018.352.3719.
- [6] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), "ODS: Agua Limpia y Saneamiento," 2023. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/6_Spanish_Why_it_Matters.pdf.
- [7] N. Monroy, "Análisis de la situación jurídica actual de los recursos hídricos en la república de Guatemala y la necesidad de crear la ley de aguas y rectoría del recurso hídrico," Universidad de San Carlos, 2011.
- [8] P. D. Palomino Avellaneda, "Evaluación de la calidad del agua en el río Mashcón, Cajamarca, 2016," *An. Científicos*, vol. 79, no. 2, p. 298, Dec. 2018, doi: 10.21704/ac.v79i2.1242.

- [9] J. I. Pérez, A. G. Nardini, and A. A. Galindo, "Análisis Comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Río Ranchería, La Guajira-Colombia," *Inf. tecnológica*, vol. 29, no. 3, pp. 47–58, Jun. 2018, doi: 10.4067/S0718-07642018000300047.
- [10] G. Calvo-Brenes and A. Araya-Ulloa, "Evaluación de dos índices de calidad del agua en varios sitios de la quebrada La Central, Pacayas de Alvarado, Costa Rica," *Rev. Tecnol. en Marcha*, Oct. 2018, doi: 10.18845/tm.v31i4.3966.
- [11] I. de Bustamante, J. . Sanz, F. . González-Fernández, J. . Encabo, and J. Mateos, "Estudio de la calidad de aguas superficiales en los espacios naturales del sur de las provincias de Salamanca y Ávila: Aplicaciones del índice ISQA," *Geogaceta*, vol. 31, pp. 103–106, 2002, [Online]. Available: <https://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/9483/Estudio-de.pdf?sequence=2>.
- [12] L. C. Losada Benavides, C. A. Rueda Sanabria, and P. Martínez Silva, "Evaluación de la calidad del agua en el embalse hidroeléctrico El Quimbo," *Entre Cienc. e Ing.*, vol. 14, no. 27, pp. 107–116, 2020, doi: 10.31908/19098367.1800.
- [13] K. Arce-Villalobos, R. Sánchez-Gutiérrez, J. Centeno-Morales, R. Marín-León, and J. A. Rodríguez-Rodríguez, "Calidad del agua superficial y presiones socioambientales en la microcuenca alta del río Poás," *Uniciencia*, vol. 36, no. 1, pp. 1–23, Mar. 2022, doi: 10.15359/ru.36-1.24.
- [14] Municipalidad de San José, "Observatorio Municipal," N°21, San José, Costa Rica, p. 20, 2017.
- [15] D. Pérez, "Percepción y amenaza de Inundaciones en Barrio Luján, San José," 2017. doi: 10.13140/RG.2.2.16481.81764.
- [16] "1060 COLLECTION AND PRESERVATION OF SAMPLES," in *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, 2017.
- [17] A. Hamlat, A. Guidoum, and I. Koulala, "Status and trends of water quality in the Tafna catchment: a comparative study using water quality indices," *J. Water Reuse Desalin.*, vol. 7, no. 2, pp. 228–245, Jun. 2017, doi: 10.2166/wrd.2016.155.
- [18] A. Jorge, "Evaluación de calidad de las aguas del arroyo Aguapey mediante el empleo del Índice Simplificado de Calidad de Agua," *Rev. sobre Estud. e Investig. del Saber Académico*, no. 7, pp. 9–12, 2013, [Online]. Available: <https://revistas.uni.edu.py/index.php/rseisa/article/view/92/91>.
- [19] M. Euba Neto, W. O. da Silva, F. C. Rameiro, E. S. do Nascimento, and A. de S. Alves, "Análises físicas, químicas e microbiológicas das águas do balneário Veneza na bacia hidrgráfica do médio Itapecuru, MA," *Arquivos do Instituto Biológico*, vol. 79. scielo , 2012.
- [20] W. F. Silva, F. C. Castillo, and C. A. S. Sierra, "Evaluacion de la precision y exactitud para la determinacion gravimetrica de solidos disueltos totales en aguas," *Julio-Diciembre*, no. 2, 2015, [Online]. Available: <http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei>.
- [21] A. G. Pérez-Castillo and A. Rodríguez, "Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación," *Rev. Biol. Trop.*, vol. 56, no. 4, pp. 1905–1918, 2008, doi: 10.15517/rbt.v56i4.5769.
- [22] Y. Solís-Castro, L. A. Zúñiga-Zúñiga, and D. Mora-Alvarado, "La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica," *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 31, no. 1, p. 35, Mar. 2018, doi: 10.18845/tm.v31i1.3495.
- [23] J. Rodríguez, "Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio , pH , conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto , (ASADAS), de cada distrito de Grecia , cantón de Alajuel," *Rev. Pensam. Actual, Univ. Costa Rica*, vol. 9, no. 12, pp. 125–134, 2009, [Online]. Available: <file:///C:/Users/Miqueas/Downloads/2842-4409-1-SM.pdf>.
- [24] República de Costa Rica, "Reglamento para la Calidad del Agua Potable." Costa Rica, 2023, [Online]. Available: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=80047.
- [25] República de Costa Rica, "Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Aguas Superficiales." Costa Rica, p. 16, 2007, [Online]. Available: [https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Reglamento evaluaci3n y clasificaci3n de calidad de cuerpos de agua superficiales.pdf](https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Reglamento%20evaluaci3n%20y%20clasificaci3n%20de%20calidad%20de%20cuerpos%20de%20agua%20superficiales.pdf).

Declaración sobre uso de Inteligencia Artificial (IA)

Para la revisión gramatical y ortográfica de este artículo, empleamos la herramienta de IA ChatGPT. Esta nos permitió identificar errores y mejorar la fluidez del texto. No obstante, realizamos una revisión final para garantizar que el artículo cumpliera con los estándares de calidad de la revista.