

Determinación del índice de calidad del agua en el río San Juan de Santiago de Cuba

Determination of the Water Quality Index in the San Juan River of Santiago de Cuba

Yudith González-Díaz¹ <https://orcid.org/0000-0003-1240-1146>

Ivelisse Hernández- Kindelán² <https://orcid.org/0009-0006-0627-4530>

David Cambara-González³ <https://orcid.org/0000-0002-6476-4822>

¹Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

²Empresa de Aprovechamiento Hidráulico. Santiago de Cuba

³GEOUBA Oriente Sur, Santiago de Cuba, Cuba

*Autor para correspondencia. Correo electrónico: yudith@uo.edu.cu

RESUMEN

El río San Juan es la mayor y más importante cuenca que atraviesa el municipio de Santiago de Cuba, es la reserva subterránea de abasto de agua a la ciudad y se articula con múltiples procesos de carácter económico, ecológico y social. En consecuencia, este sistema hídrico se ve expuesto a perturbaciones de carácter antrópico, que afectan considerablemente la disponibilidad del agua para diversos fines. Con el objetivo de valorar la calidad del agua del río San Juan, el presente estudio realizó la evaluación de los parámetros físicos, químicos y biológicos en el río San Juan y se determinó el Índice de Calidad del Agua como indicador global en los meses de mayo y noviembre, correspondientes a temporada de lluvia y la temporada seca respectivamente del año 2024. El empleo del Índice de Calidad del agua permitió clasificar la calidad del agua del río San Juan como regular en noviembre y en ocho de los once puntos analizados en mayo. En tres puntos de muestreo, en temporada de lluvia, el agua es clasificada como de mala calidad Este resultado refleja un impacto significativo de las actividades humanas y evidencia la necesidad de implementar

el plan de acciones correctoras propuesto para la prevenir y mitigar los daños generados por la contaminación ambiental en la cuenca del río San Juan.

Palabras clave: contaminación; índice de calidad del agua; río.

ABSTRACT

The San Juan River is the largest and most important watershed that flows through the municipality of Santiago de Cuba. It is the underground reservoir that supplies water to the city and is connected to multiple economic, ecological, and social processes. Consequently, this water system is exposed to anthropogenic disturbances, which significantly affect the availability of water for various purposes. With the objective of assessing the water quality of the San Juan River, this study evaluated the physical, chemical, and biological parameters of the San Juan River and determined the Water Quality Index as a global indicator for the months of May and November, corresponding to the rainy and dry seasons, respectively, of 2024. Using the Water Quality Index, the water quality of the San Juan River was classified as fair in November and at eight of the eleven points analyzed in May. At three sampling points during the rainy season, the water quality was classified as poor. This result reflects a significant impact of human activities and highlights the need to implement the proposed corrective action plan to prevent and mitigate the damage caused by environmental pollution in the San Juan River basin.

Keywords: pollution; water quality index; river.

Recibido: 05/05/2025

Aceptado: 28/08/2025

Introducción

El agua es un elemento esencial no solo para la preservación de la vida, sino también para la conservación de la flora y fauna de una región. El uso del agua es el mejor indicador del grado de desarrollo social y económico de un país. Su conservación y calidad están estrechamente vinculadas prácticamente con todas las actividades económicas y sociales en forma ineludible, así como con la salud de la población.

En el contexto actual de un mundo globalizado y dinámico, las aguas superficiales han sido afectadas directa e indirectamente por la contaminación

antropogénica, dada por el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales y de producción agrícola y ganadera.⁽¹⁾

La disponibilidad del recurso hídrico para un uso determinado está estrechamente ligada a su calidad.⁽²⁾ Un tema muy importante y estudiado a nivel mundial es la calidad del agua, puesto que se trata de un recurso imprescindible para la preservación de la vida. Este es un concepto relativo que depende del uso que se le dará al agua o al sistema hídrico a evaluar, pudiendo ser empleada para consumo humano, fomento de la vida acuática, riego, transporte de mercancías o mantenimiento del ecosistema con sus características funcionales.⁽³⁾

El río San Juan se ubica geográficamente en la ciudad de Santiago de Cuba, la segunda más poblada de Cuba. Este río es uno de los cuerpos hídricos más importantes de la ciudad y una de las mayores reservas de agua subterránea.

⁽⁴⁾ Sin embargo, factores como el crecimiento acelerado de la ciudad, las transformaciones del suelo por el desarrollo urbano en las áreas de mayor vulnerabilidad y la falta de un sistema de alcantarillado aceptable en todos los poblados aledaños, desde su fundación hasta nuestros días, han contribuido a que el río y sus afluentes sean receptores de los residuales líquidos de gran parte de la ciudad, de las industrias cercanas y centros agrícolas. Esta situación ha traído como consecuencia un deterioro progresivo de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca, poniendo en peligro las aguas subterráneas de las cuales se abastecen una gran parte de los habitantes de Santiago de Cuba,⁽⁵⁾ con un impacto ambiental, social y económico.

El río San Juan recibe aguas residuales de varias zonas de la ciudad a través de zanjas, desde el Consejo Popular de Boniato hasta la desembocadura de Aguadores, detectándose más de 100 focos contaminantes de orígenes diversos, impactando en la calidad ambiental del mismo. En los últimos tiempos, debido a: la implementación de la Estrategia Ambiental Nacional (EAN), la introducción de prácticas de producción más limpia y las nuevas alternativas para el tratamiento y aprovechamiento económico de residuales en las industrias aledañas, se ha disminuido la carga contaminante de los residuales de varios de los focos contaminantes, antes de su disposición final.^(6,7)

Se reconocen diferentes procedimientos para evaluar la calidad del agua. Éstos pueden ir desde brindar el valor independiente de las diferentes propiedades del agua, hasta la definición de expresiones en las que se combinan algunas de las propiedades, según un interés predeterminado.

Con estas expresiones se puede reducir la naturaleza multivariada de los análisis sobre calidad de agua a un valor único, y conocer rápidamente cual es el “estado de salud” del sistema monitoreado. Tal es el caso de los índices de calidad de agua (ICA), que consisten en una expresión matemática de una combinación más o menos compleja de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que caracterizan la calidad agua. ^(8,9)

Entre las ventajas de los ICA se tiene que aportan información relevante sobre el estado en el que se encuentra un recurso hídrico para la aplicación de soluciones ambientales, además de ser favorable para la evaluación espaciotemporal de la calidad del agua y sus aplicaciones. ⁽¹⁰⁾

Entre los ICA más empleados se destaca el propuesto por Brown y colaboradores en 1970 que es una versión modificada del *Water Quality Index* (WQI), desarrollada por la de la *National Sanitation Foundation* (ICA– NSF). Este índice goza de amplia difusión y aplicación. ^(11,12)

El objetivo del presente trabajo es evaluar la calidad del agua del río San Juan mediante la aplicación del índice de calidad del agua.

Materiales y métodos

La zona de estudio se concentra en el río San Juan ubicado en el municipio Santiago de Cuba. Se ejecutaron dos muestreos y con ello se evaluaron dos temporadas del año. La época de lluvia en mayo del 2024 y la época de sequía en noviembre de 2024 en 14 puntos de muestreo representativos del río que se muestran en la tabla1.

Tabla 1- Puntos de muestreo en el río San Juan

No.	Código	Fuente de captación
1	SC-009	P 249 Clínico (Sistema Huerto Escolar)
2	SC-010	P 150 (Batería Campo de Tiro)
3	SC-430	Acueducto San Vicente
4	SC-431	Línea A <u>Batería</u> (Sistema San Juan)
5	SC-432	Línea B <u>Batería</u> (Sistema San Juan)
6	SC-433	Batería Santa Rosa (Sistema San Juan)
7	SC-434	P 220 A (Sistema San Juan)
8	SC-435	Trabajadores Sociales 1 (Sistema Huerto Escolar)
9	SC-535	25 B (Sistema San Juan)
10	SC-593	P-222A (Sistema San Juan)
11	SC-594	P-222B (Sistema San Juan)

Las muestras de agua se obtuvieron en cada uno de los puntos de muestreo utilizando recipientes de polietileno de alta densidad, a cada envase se le colocó una etiqueta con su respectiva fecha, nombre y localización del sitio. Las determinaciones analíticas de las muestras de agua se realizaron en el laboratorio de Recursos Hidráulicos de Santiago de Cuba y fueron: coliformes fecales (CF), pH, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), nitratos (NO_3^-), turbidez y sólidos disueltos totales (SDT). Los métodos de ensayo se realizaron mediante Standard Methods. ⁽¹³⁾

El índice de calidad de agua se determinó teniendo en cuenta el promedio aritmético ponderado de las seis variables a través de la ecuación (1).

$$ICA = \sum_{i=1}^{I=n} Q_i \cdot W_i \quad (1)$$

donde:

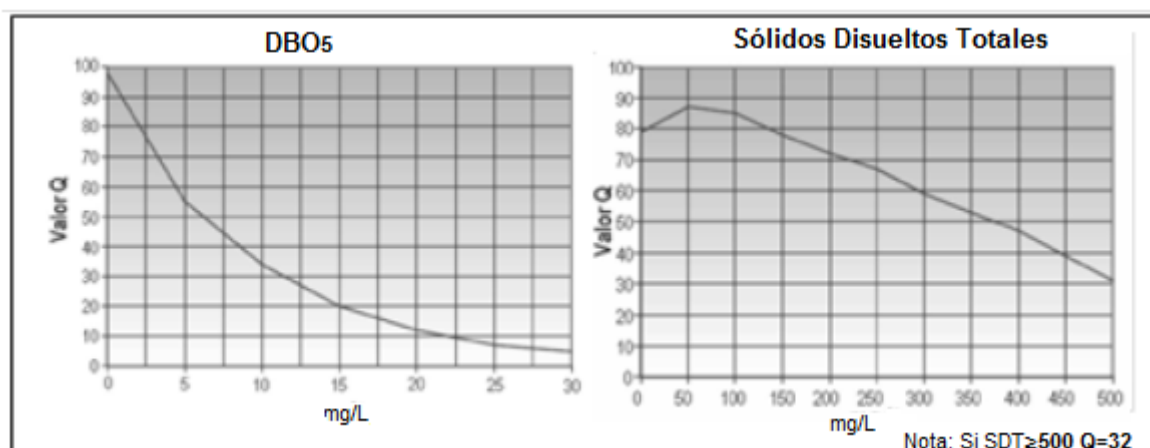
Q_i : corresponde con el factor de escala de la variable, depende de la magnitud de la variable y es independiente de las restantes.

W_i : representa el factor de importancia o ponderación de la variable i respecto a las restantes variables que conforman el índice.

i : representa la variable o parámetro considerado.

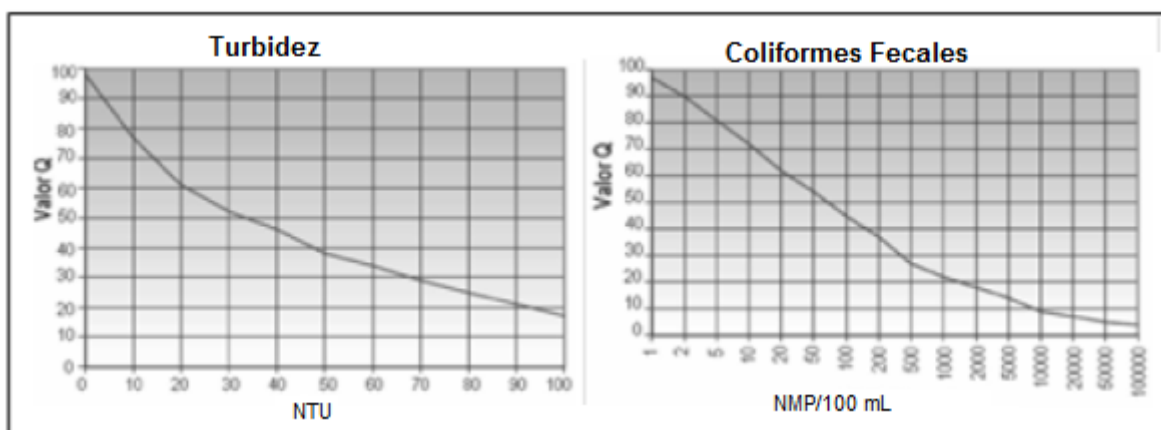
En las figuras 1, 2 y 3 se presentan las curvas de función propuestas por Brown en 1970 y modificadas por Samboni en el 2007, que se utilizan para

determinar por cada valor de la concentración de los parámetros contemplados en el ICA el valor de Q_i correspondiente.



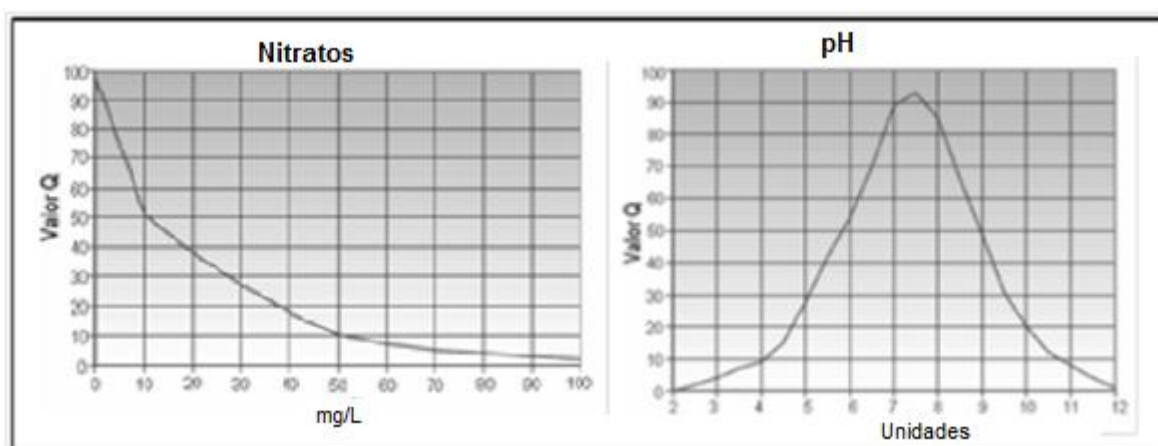
Fuente: Quiroz, 2017¹⁴

Fig. 1- Curvas de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Sólidos Disueltos Totales.



Fuente: Quiroz, 2017¹⁴

Fig. 2- Curvas de calidad de Turbidez y coliformes fecales



Fuente: Quiroz, 2017¹⁴

Fig. 3- Curvas de calidad de iones nitratos y pH

A cada parámetro se le asignó un peso específico (W_i) de acuerdo con su importancia en la calidad del agua. En la tabla 2 se expresan el peso W_i empleado de cada uno de los parámetros y su significado.

Tabla 2- Peso de los parámetros físico químicos analizados

Parámetros	Peso (W_i)
Coliformes Fecales	0,18
pH	0,15
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)	0,20
Nitratos (NO_3^-)	0,10
Turbidez	0,17
Sólidos disueltos totales (SDT)	0,20

En la tabla 3 se refleja la escala utilizada para interpretar el resultado final de la calidad del agua de acuerdo con este índice.

Tabla 3- Calidad del agua asociada al valor del ICA

Valor del ICA	Calidad del agua	Color de Referencia
90-100	Excelente	
70-89,9	Bueno	
50-69,9	Regular	
25-49,9	Malo	
0-24,9	Pésimo	

Resultados y discusión

En la tabla 4 se muestran los resultados de los diferentes parámetros evaluados y el ICA calculado para cada muestra en el mes de mayo (época lluvia).

Tabla 4- Parámetros estudiados e índice de calidad del agua (ICA) en sitios de la cuenca del río San Juan en Mayo 2024.

Punto Muestreo	DBO_5 (mg/L)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	pH (u)	NO_3^- (mg/L)	Turbidez (NTU)	SDT (mg/L)	ICA
SC-009	8	26	7,6	10	12	723	56,83
SC-010	9	4,5	7,59	10	14	652	61,15
SC-430	8	39	7,66	10	0,31	188	68,61
SC-431	8	2	7,74	10	12	622	62,08
SC-432	7	1,8	7,7	10	15	698	62,04
SC-433	8	4,5	7,78	10	25	654	57,41
SC-434	8	170	8,1	10	32	508	49,21
SC-435	9	140	7,77	10	34	704	47,54
SC-535	7	170	8,1	10	32	522	48,96
SC-593	7	2	7,61	10	30	664	59,12
SC-594	8	1,8	7,77	10	30	723	58,35

Los valores de DBO_5 se encuentran muy por encima del valor establecido por la NC 1021/2014,⁽¹⁵⁾ por tanto, el agua no es apta para el consumo humano. Los

valores elevados de DBO_5 indican una alta carga de materia orgánica, que puede ser provocado por el vertimiento de aguas residuales domésticas o industriales. Esto conlleva al agotamiento del oxígeno disuelto, el cual es consumido por las bacterias aeróbicas en el proceso de descomposición de la materia orgánica, afectando así el ecosistema acuático.

Los coliformes fecales se encuentran fuera de la norma en tres puntos de muestreo, mientras que en el resto se encuentran por debajo de la misma. Los valores de coliformes elevados en esos puntos sugieren una alta contaminación por heces humanas o animales, que pueden provenir de descargas directas de aguas residuales domésticas sin tratamiento, infiltración de pozos sépticos o ganadería cercana. Esto puede provocar enfermedades gastrointestinales.

Los valores de pH de cada una de las muestras tomadas en los diferentes puntos de muestreo se encuentran entre los límites establecidos por la NC 1021/2014⁽¹⁵⁾, por lo que para este parámetro las aguas son aptas para el consumo humano, el riego y la vida acuática.

En todos los puntos de muestreo la concentración de nitratos se encuentra por debajo del límite establecido por la NC 1021/2014, indicando que el agua está apta para consumo humano. Los sólidos totales aunque con valores inferiores al límite máximo establecido por la norma están elevados lo que indica una carga particulada alta y evidencian variabilidad en los valores de este parámetro, lo que era de esperar por los diversos focos que vierten y las diferentes características que poseen ⁽¹⁶⁾.

Los resultados obtenidos (tabla 4) indicaron que la calidad del agua para todos los usos potenciales se clasificó en ocho puntos de muestreo como de calidad regular ($50 \leq \text{ICA} \leq 69,99$) y como calidad mala ($25 \leq \text{ICA} \leq 49,99$) en tres de los puntos de muestreo (27,27%). Clasifican como calidad del agua mala los puntos de muestreo SC-434, SC-435 y SC-535 que son los tres puntos en los que los coliformes se encuentran por encima del valor establecido en la Norma NC 1021/2014.

En la tabla 5 se presentan los resultados de los parámetros físico-químicos determinados y los ICA calculados a las aguas del río San Juan en el mes de Noviembre del 2024.

Tabla 5- Parámetros estudiados e índice de calidad del agua (ICA) en sitios de la cuenca del río San Juan en Noviembre 2024.

Punto Muestreo	DBO ₅ (mg/L)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	pH (u)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	Turbidez (NTU)	SDT (mg/L)	ICA
SC-009	13	2	7,66	10	2	388	65,09
SC-010	13	2	7,9	10	1	385	64,43
SC-430	11	7,8	7,44	10	0,14	236	68,78
SC-431	13	2	7,11	10	0,26	384	68,88
SC-432	13	2	7,2	10	2	447	63,34
SC-433	11	2	7,1	10	1	445	64,50
SC-434	13	1,8	7,66	10	2	385	65,65
SC-435	13	2	7,99	10	1	387	64,33
SC-535	10	1,8	7,11	10	1	386	67,12
SC-593	8	1,8	7,2	10	2	385	68,10
SC-594	11	1,8	7,6	10	2	384	66,67

Los valores de la DBO₅ en todos los puntos de muestreo en noviembre son superiores a los obtenidos en mayo lo que indica una mayor concentración de materia orgánica por menor caudal en época de sequía (figura 4).

En noviembre los valores de pH de cada una de las muestras tomadas en los diferentes puntos de muestreo se encuentran entre los límites establecidos por la NC 1021/2014. Los coliformes fecales, la concentración de nitratos y los sólidos totales poseen valores inferiores al límite máximo establecido por la norma cubana vigente.

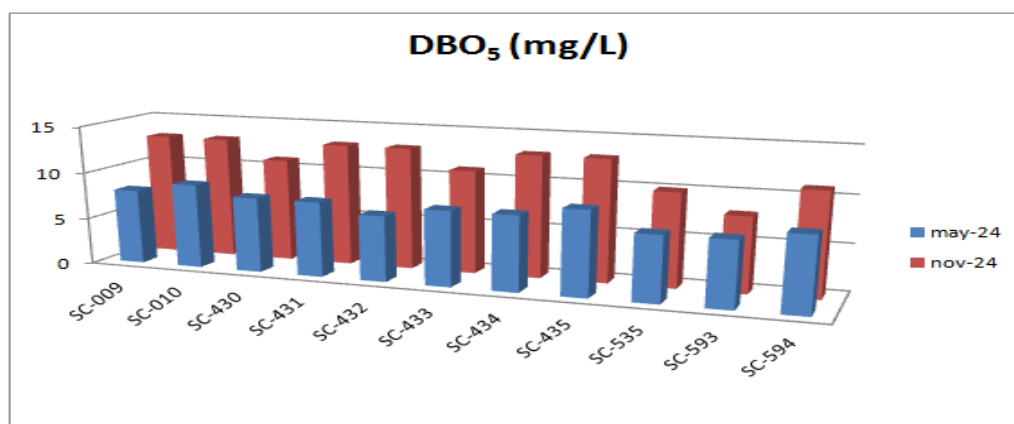


Fig. 4- Comparación de los valores de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Los resultados mostrados en la tabla 5 evidencian que los coliformes fecales, turbidez y sólidos totales son inferiores en noviembre (época seca) que en mayo (época de lluvia) y en noviembre el ICA de todos los puntos de muestreo reflejó una calidad de agua regular.

En la figura 5 se comparan los valores del ICA en época de lluvia (mayo) y época de seca (noviembre).

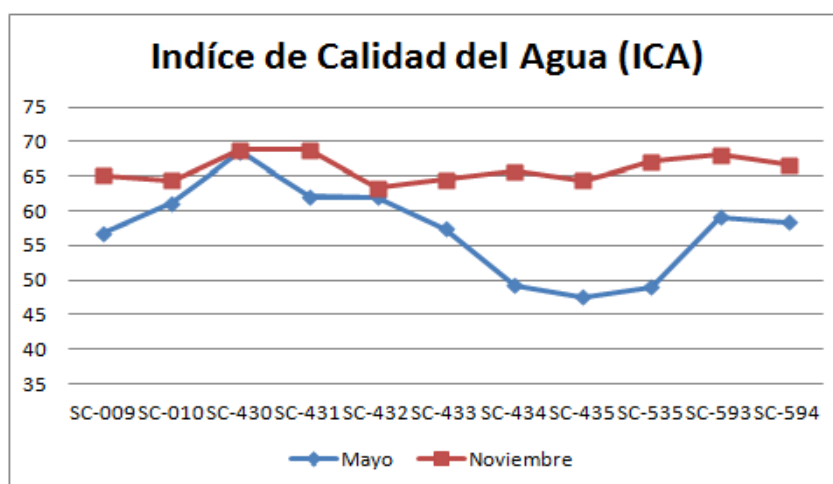


Fig. 5 -Comparación de los índices de calidad del agua (ICA) en el río San Juan

Normalmente se esperaría que en época seca existiera una mayor concentración de contaminantes por menor caudal por lo que la calidad del agua debería ser peor. Sin embargo, ocurre lo contrario (mayo: calidad del agua mala y en noviembre: calidad del agua regular), lo que se debe al aumento de la contaminación por arrastre de escorrentía, es decir, Las lluvias lavan y arrastran contaminantes acumulados en suelos, como: fertilizantes y pesticidas, heces de ganado y sedimentos.

Conclusiones

El ICA demostró ser una herramienta eficaz para priorizar acciones correctivas en cuencas afectadas por actividades antrópicas. La calidad del agua del río San Juan varía estacionalmente, con deterioro en lluvias por arrastre de coliformes fecales y materia orgánica. El empleo del ICA permitió clasificar la calidad del agua del río San Juan como regular en noviembre y en ocho de los once puntos analizados en mayo. En los puntos de muestreos SC-434, SC-435, SC-535, en temporada de lluvia, el agua es clasificada como de mala calidad y requieren intervención urgente por incumplimiento crónico de normas microbiológicas.

Referencias bibliográficas

1. OSORIO-ORTEGA, M. A., et al. Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Ingeniería del agua*, 2021, **25** (2), p. 115-126. [Consultado: 5 de mayo de 2025]. ISSN: 2710-995X. Disponible en: <https://doi.org/10.46502/issn.2710-995X/2022.7.03>
2. FERRER POZO, E.; GÓMEZ LUNA, Liliana María; GONZÁLEZ DÍAZ, Yudith. Impactos de la sequía hidráulica en el agroecosistema Valle de Caujerí, periodo 2018-2021. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 2023. **44**(3) p. 43-57. [Consultado: 8 de marzo de 2025]. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v44n3/1680-0338-riha-44-03-43.pdf>
3. FERRER-POZO, Esvillel; GÓMEZ-LUNA, Liliana; GONZÁLEZ-DÍAZ, Yudith. Índice sintético para evaluar la sequía hidráulica. *Tecnología Química*, 2023, **43**, (3) p. 587-603. [Consultado: 30 de junio de 2025]. ISSN: 2224-6185. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852023000300587&script=sci_arttext&lng=en
4. CROMBET-GRILLET, Sandra, et al. Variación temporal del nivel de contaminación en el río San Juan. *Revista Cubana de Química*, 2023, **35**(3) p. 461-479. [Consultado: 5 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://cubanaquimica.uo.edu.cu/index.php/cq/article/view/5349>
5. MORALES VIRGILÍ, Mayelina; RIVERA SOTO, Margarita. Estudio ambiental en la cuenca del río San Juan de Santiago de Cuba. *Tecnología Química*, 2017, **37** (2)p. 249-263. ISSN 2224-6185. [Consultado: 23 de mayo de 2025]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852017000200008&script=sci_arttext&lng=en
6. MORELL-BAYARD, A.C.; BERGUES-GARRIDO, P.; LÓPEZ-DEL CASTILLO, P.; ALMARALES-CASTRO, A. “Estado ecológico del río San Juan en Santiago de Cuba: período 2013-2015”, *Ciencia en su PC*. 2020, **1** (3), p. 36-49. [Consultado: 15 de junio de 2025]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/1813/181365138003/html>

7. SALMO CUSPINERA, Yindra, et al. Caracterización climática del área de la Cuenca Hidrográfica del río San Juan. *Revista Cubana de Meteorología*, 2023, **29** (1). [Consultado: 19 de abril de 2025] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S26648802023000100004&script=sci_ext
8. FERNANDEZ EVANGELISTA, Lenin. "Evaluación de la calidad de aguas del río Tingo utilizando el índice biológico como indicador, ubicados en los distritos de Yanacancha, Yarusyacán y Pallanchacra de la provincia de Pasco-2022". Director: Vazquez-García Rosario. Tesis en opción al título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Perú. 2024. [Consultado: 18 de marzo de 2025]. Disponible en <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/4016>
9. ROJAS, Lino Valcarcel; MACÍAS, Nancy Alberro; FONSECA, Daniel Frías. El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo*, 2010, 18. [Consultado: 20 de junio de 2024]. Disponible en: <http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/2639/1/Indice%20calidad%20agua%20como%20herramienta%20para%20gesti%c3%b3n%20de%20recursos%20h%C3%ADdricos.pdf>
10. ALCÍVAR-CEDEÑO, Ana Karina. Índice de calidad como indicador de efectividad en la potabilización del agua del río Carrizal. *Tecnología y ciencias del agua*, 2025, **16**(1), p. 173-236. [Consultado: 5 de julio de 2025]. Disponible en: <https://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/3342>
11. VIRVIESCAS, L. M., et al. Análisis Espacio-Temporal de la Calidad del Agua del Río Magdalena (Periodo 2009-2018) A Partir de la Comparación de Índices de Calidad del Agua. Director: Wilmar A. Botello Suárez. Tesis en opción al título de Ingeniero Ambiental. *Universidad El Bosque.Colombia*, 2020. [Consultado: 14 de enero de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.unbosque.edu.co/items/6bb3015c-d954-43e1-9bef-ab2f235bd2a1>
12. LOZADA, Jaime Luis Huerta; CASTILLO, Johana Verónica Salazar. Análisis de la aplicabilidad del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) en la evaluación de la calidad de agua de

- la Cuenca del Río Tambo. *TecnoHumanismo*, 2024, **4** (1), p. 1-34.
Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9862398>
13. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for Examination of water and wastewater. 2022. 24th Edition. ISBN: 978-0875532998.
14. QUIROZ FERNÁNDEZ, Luis Santiago; IZQUIERDO KULICH, Elena; MENÉNDEZ GUTIÉRREZ, Carlos. Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 2017, **38** (3), p. 41-51. [Consultado: 21 de febrero de 2025]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382017000300004&script=sci_arttext&tlng=pt
15. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Norma Cubana NC:1021/2014 “Higiene comunal — fuentes de abastecimiento de agua — calidad y protección sanitaria”. La Habana: Oficina Nacional de Normalización, 2014.
16. CROMBET-GRILLET, *et al* (2023). Temporal variation of the pollution level in the San Juan river. *Revista Cubana de Química*, 2023, **35**(3), p. 461–479. [Consultado: 15 de junio de 2025]. Disponible en: <https://cubanaquimica.uo.edu.cu/index.php/cq/article/view/5349>

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Yudith González Díaz: conceptualización, procesamiento de datos y elaboración del informe final.

Ivelisse Hernández Kindelán: obtención y procesamiento de datos.

David Cambara González: redacción – revisión y edición.