

Evaluación de la calidad del agua en el embalse Parada, Santiago de Cuba

Water quality assessment of the Parada reservoir,
Santiago de Cuba

Ivelisse Hernández-Kindelán¹ <https://orcid.org/0009-0006-0627-4530>

Yudith González-Díaz² <https://orcid.org/0000-0003-1240-1146>

Nelbis Sánchez-Piña² <https://orcid.org/0009-0005-3791-7300>

¹Empresa de Aprovechamiento Hidráulico, Santiago de Cuba, Cuba

²Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente,
Santiago de Cuba, Cuba

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

RESUMEN

La gestión de la calidad del agua en fuentes de abasto es prioritaria ante el deterioro cualitativo de los recursos hídricos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del agua del embalse Parada, Santiago de Cuba, durante el año 2024. Se realizaron muestreos mensuales analizando parámetros físico-químicos y microbiológicos según el *Standard Methods*, contrastando los resultados con la norma NC 1021:2014. Para la evaluación integral se empleó el Índice de Calidad del Agua (ICA) basado en el modelo de Brown, considerando variables como pH, turbidez, DBO₅, nitratos, sólidos disueltos totales y coliformes totales. Los resultados indicaron que la DBO₅ fue el parámetro más crítico, con valores fuera de norma durante todo el periodo (6-16 mg/L), categorizando el agua como contaminada por materia orgánica. En septiembre se registró un pico de turbidez de 40 NTU vinculado a eventos de escorrentía pluvial. La aplicación del ICA permitió clasificar la calidad del agua como Regular durante todo el año, con un valor mínimo de 50,95 en septiembre, situándose en el límite inferior de dicha categoría. Se concluye que, aunque el embalse cumple con la mayoría de los límites normados, la persistente carga orgánica y la vulnerabilidad ante eventos

hidrometeorológicos exigen un monitoreo sistemático para asegurar su uso sostenible en el abasto poblacional e industrial.

Palabras clave: índice de calidad del agua (ICA); embalse Parada; DBO₅; Gestión de recursos hídricos.

ABSTRACT

Water quality management in supply sources is a priority given the qualitative deterioration of water resources. The objective of this study was to assess the water quality of the Parada reservoir, Santiago de Cuba, during 2024. Monthly samplings were conducted, analyzing physicochemical and microbiological parameters according to Standard Methods and comparing the results with the NC 1021:2014 standard. For the comprehensive assessment, the Water Quality Index (WQI) based on Brown's model was used, considering variables such as pH, turbidity, BOD₅, nitrates, total dissolved solids, and total coliforms. Results indicated that BOD₅ was the most critical parameter, with values exceeding the standard throughout the period (6-16 mg/L), classifying the water as contaminated by organic matter. In September, a turbidity peak of 40 NTU was recorded, linked to rainfall runoff events. The application of the WQI allowed for the classification of water quality as Fair throughout the year, with a minimum value of 50,95 in September, placing it at the lower limit of this category. It is concluded that while the reservoir complies with most regulatory limits, the persistent organic load and vulnerability to hydrometeorological events demand systematic monitoring to ensure its sustainable use for population and industrial supply.

Keywords: water quality index (WQI); parada reservoir; BOD₅; water standards; organic pollution.

Recibido: 03/11/2025

Aceptado: 26/12/2025

Introducción

La gestión de los recursos hídricos en la actualidad enfrenta no solo el desafío del agotamiento cuantitativo, sino también un marcado deterioro cualitativo ⁽¹⁾.

Este proceso está estrechamente vinculado a la contaminación por efluentes domésticos e industriales, así como a la intrusión salina derivada de la sobreexplotación de acuíferos. En Cuba, se ha priorizado la vigilancia sistemática de los cuerpos de agua como una estrategia nacional para garantizar la conservación y el uso sostenible de este recurso estratégico.⁽²⁾

La evaluación del estado ambiental de un ecosistema acuático requiere el uso de indicadores de calidad. Estos parámetros deben seleccionarse con rigor científico para asegurar que la información generada sea pertinente a los objetivos de la investigación.^(3,4) Para gestionar la complejidad de los datos obtenidos, se emplean los Índices de Calidad del Agua (ICA), los cuales sintetizan variables multivariadas en un valor numérico único dentro de una escala normalizada⁽⁵⁾. Esta integración facilita la interpretación técnica y proporciona una visión clara sobre la tendencia y el estado de salud del sistema monitoreado.^(6,7)

Entre las herramientas de evaluación más extendidas se encuentra el índice desarrollado por Brown et al. (1970), una versión modificada del *Water Quality Index* de la *National Sanitation Foundation* (ICA-NSF), reconocido por su robustez y amplia difusión internacional.^(8,9) El uso de los ICA resulta fundamental para la toma de decisiones y la evaluación espaciotemporal de los recursos hídricos.^(10, 11)

En la provincia de Santiago de Cuba, el sistema de abastecimiento cuenta con once embalses. Entre ellos, el embalse “Parada” desempeña un rol crítico, especialmente como fuente de contingencia ante situaciones extremas y periodos de sequía. Dado que la región oriental del país ha enfrentado sequías prolongadas en años recientes, es probable que la calidad del agua de este embalse, que abastece a cerca de 26 000 habitantes y a la zona industrial de la ciudad, haya experimentado variaciones significativas.

A pesar de su importancia estratégica, existe una carencia de datos fisicoquímicos y microbiológicos actualizados sobre este cuerpo de agua desde el año 2017. Por ello, el presente trabajo se propone como objetivo general evaluar la calidad del agua del embalse Parada mediante la determinación de parámetros integradores y el cumplimiento de la normativa vigente.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el embalse "Parada", ubicado en el municipio de Santiago de Cuba. Esta fuente constituye una reserva estratégica para el sistema de abastecimiento de la ciudad, operando principalmente durante periodos de sequía severa o contingencias operacionales.

Diseño de muestreo y recolección de muestras

Se estableció un régimen de monitoreo mensual durante el año 2024. Las muestras se colectaron en recipientes de polietileno de alta densidad, sometidos a un proceso previo de lavado y acondicionamiento según protocolos estandarizados. Cada muestra fue rotulada *in situ* con la identificación del sitio, fecha y hora de captación. Para garantizar la representatividad y estabilidad de los analitos, las muestras se conservaron en refrigeración y se transportaron bajo condiciones controladas hasta el laboratorio, respetando los tiempos máximos de preservación.

Análisis fisicoquímicos y microbiológicos

Los ensayos analíticos se ejecutaron en el Laboratorio de Recursos Hidráulicos de Santiago de Cuba. Se determinaron los parámetros: pH, turbidez, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), nitratos (NO_3^-), sólidos disueltos totales (SDT) y coliformes totales (CT).

Todos los procedimientos se realizaron siguiendo las metodologías descritas en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.⁽¹²⁾ Los resultados obtenidos se contrastaron con los límites máximos permisibles de la norma NC 1021:2014 "Higiene comunal — Fuentes de abastecimiento de agua — Calidad y protección sanitaria".⁽¹³⁾

Determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA)

Para la evaluación global del cuerpo de agua, se empleó el Índice de Calidad del Agua (ICA) basado en el modelo de Brown et al. (1970). El cálculo se realizó mediante un promedio aritmético ponderado,⁽¹¹⁾ según la ecuación (1):

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

donde:

Q_i : factor de calidad o subíndice de la variable i (adimensional), determinado a partir de las curvas de función propuestas por Brown y modificadas por Samboni.⁽¹⁴⁾

W_i : factor de ponderación o peso relativo asignado a la variable i , en función de su importancia e impacto en la calidad del recurso (tabla 1).

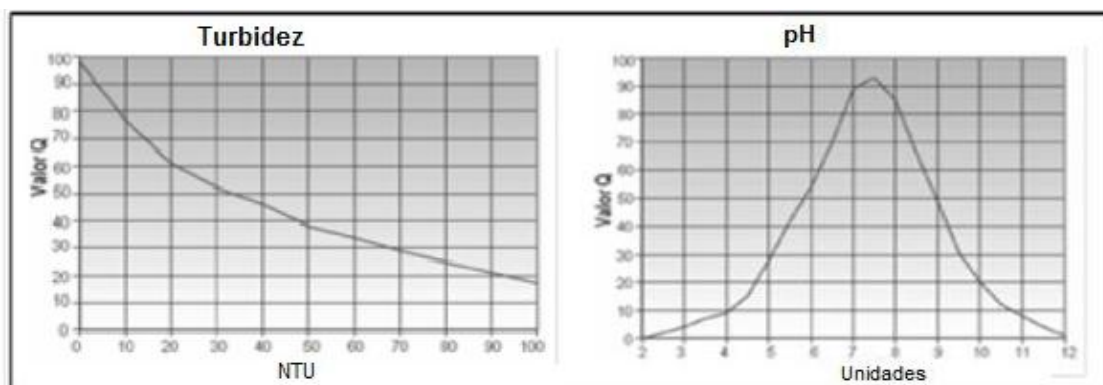
n : número total de parámetros considerados.

i : representa la variable o parámetro considerado.

Tabla 1 - Pesos específicos (W_i) asignados a los parámetros físico-químicos y microbiológicos.

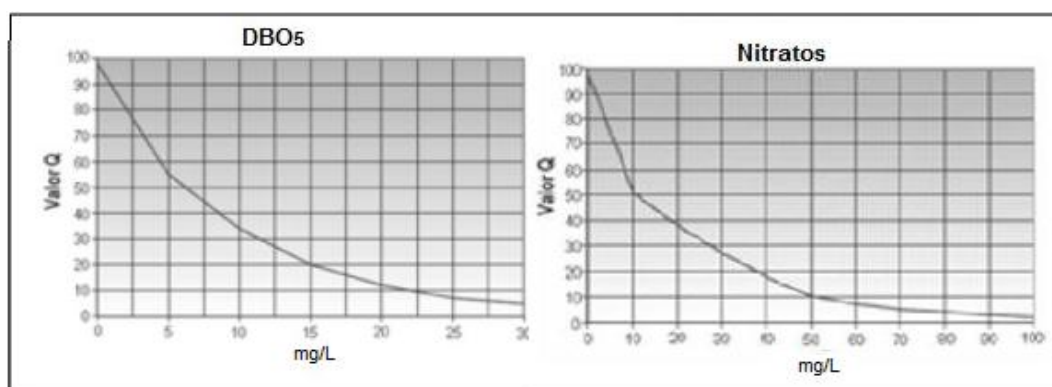
Parámetros	Peso (W_i)
pH	0,15
Turbidez	0,17
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	0,20
Nitratos (NO_3^-)	0,10
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	0,20
Coliformes Totales	0,18

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.



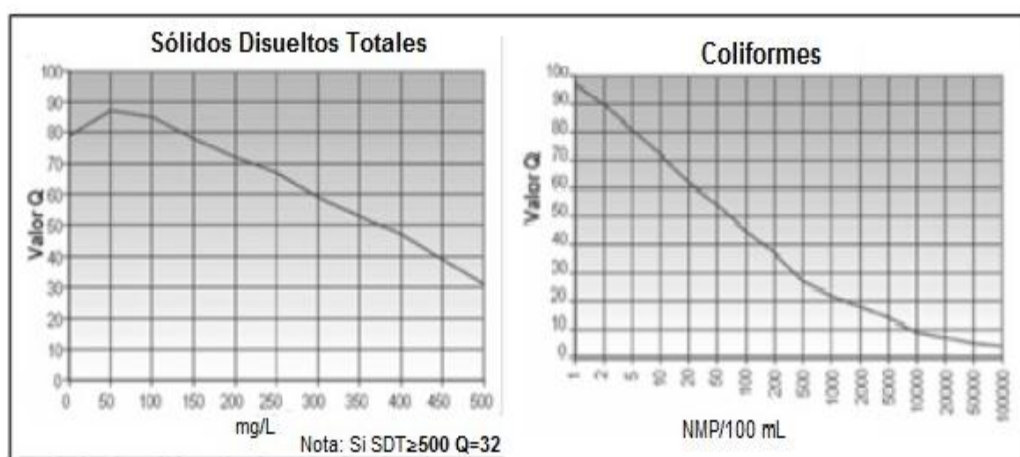
Fuente: Quiroz, 2017⁽¹⁵⁾

Fig. 1- Curvas de Turbidez y pH



Fuente: Quiroz, 2017 ⁽¹⁵⁾

Fig. 2- Curvas de Demanda Bioquímica de Oxígeno e iones nitratos



Fuente: Quiroz, 2017 ⁽¹⁵⁾

Fig. 3- Curvas de calidad de Sólidos Disueltos Totales y Coliformes Totales.

La interpretación de los valores resultantes se realizó según la escala de clasificación de la calidad del agua presentada en la tabla 2

Tabla 2- Calidad del agua asociada al valor del ICA

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

Resultados y discusión

En la tabla 3 se presentan los valores promedio mensuales de los parámetros físico-químicos y microbiológicos monitoreados en el embalse Parada durante el año 2024.

Tabla 3- Parámetros estudiados en el embalse Parada en el 2024

Meses	pH (U)	Turbidez (NTU)	DBO ₅ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	SDT (mg/L)	CT NMP/100 mL
Enero	7,71	0,5	9	10	346	4
Febrero	7,97	0,9	6	10	380	24
Marzo	7,63	0,46	10	10	417	12
Abril	7,51	1	11	10	402	2
Mayo	7,41	9	11	10	317	20
Junio	7,97	2	10	10	367	1,8
Julio	8,2	0,61	10	10	365	2
Agosto	7,9	5	16	10	371	4
Septiembre	7,2	40	13	10	423	39
Octubre	7,1	1	13	10	374	14
Noviembre	7,58	2	11	10	371	6,8
Diciembre	7,56	0,71	13	10	389	1,8

El pH se mantuvo en un rango de 7,1 a 8,2 unidades, lo que clasifica estas aguas como ligeramente alcalinas. Todos los valores cumplieron con el límite establecido por la NC 1021:2014 (6,5 - 8,5), indicando una estabilidad química adecuada que favorece tanto el consumo humano como la preservación de la vida acuática sin riesgos de acidificación extrema.

La turbidez exhibió un comportamiento estable por debajo de las 10 NTU en la mayor parte del año, cumpliendo con los requisitos para fuentes que solo requieren desinfección. No obstante, en septiembre se registró un pico anómalo de 40 NTU, superando drásticamente el límite normado. Este incremento coincide con un régimen pluvial moderadamente húmedo en la región, sugiriendo que las precipitaciones intensas provocaron un arrastre significativo de sedimentos y material terrígeno desde la cuenca. Este fenómeno no solo compromete la estética del agua, sino que interfiere en la eficiencia de los procesos de desinfección y aumenta el riesgo de transporte de patógenos.

Respecto a la materia orgánica, la DBO₅ constituyó el parámetro más crítico. Con valores que oscilaron entre 6 y 16 mg/L, el embalse mostró un incumplimiento sostenido de la norma durante todo el ciclo anual. Según la clasificación de Orozco et al. ⁽¹⁶⁾ (tabla 4), estas aguas se categorizan como "contaminadas" (DBO₅>8 mg/L) en el 92% de los muestreos, alcanzando su valor máximo de 16 mg/L en agosto. La elevada carga orgánica detectada sugiere un aporte constante de vertimientos domésticos, agrícolas o la descomposición de biomasa inundada, lo que eleva el riesgo de procesos de eutrofización y agotamiento del oxígeno disuelto.

Tabla 4- Clasificación de las aguas teniendo en cuenta la concentración de DBO_5

DBO_5	Clasificación
< 3 mg/L	Aguas muy puras
3-5 mg/L	Pureza intermedia
> 8 mg/L	Agua contaminada

Fuente: Orozco et al. ⁽¹⁶⁾

Por el contrario, los nitratos (NO_3^-), los Sólidos Disueltos Totales (SDT) y los Coliformes Totales (CT) se mantuvieron dentro de los límites máximos permisibles de la NC 1021:2014. A pesar de este cumplimiento, es notable que tanto los SDT como los CT alcanzaron sus concentraciones máximas anuales en septiembre (423 mg/L y 39 NMP/100 mL, respectivamente), reforzando la tesis de un evento de carga contaminante máxima por escorrentía durante este mes.

Índice de Calidad del Agua (ICA)

El cálculo del ICA permitió integrar la naturaleza multivariada de los parámetros en un indicador holístico (tabla 5). Los resultados revelan que la calidad del agua del embalse Parada se clasificó como Regular durante todos los meses del año 2024.

Tabla 5- Resumen de cálculo del ICA

Meses	$Q_i \cdot W_i$ pH	$Q_i \cdot W_i$ Turbidez	$Q_i \cdot W_i$ DBO_5	$Q_i \cdot W_i$ NO_3^-	$Q_i \cdot W_i$ SDT	$Q_i \cdot W_i$ CT	$\text{ICA} = \sum Q_i \cdot W_i$
Enero	13,65	16,83	7,6	5	11	14,94	69,02
Febrero	12,9	16,83	10,4	5	9,6	10,8	65,53
Marzo	13,65	16,83	6,8	5	9,2	12,6	64,08
Abril	13,65	14,28	6,4	5	9,6	16,2	65,13
Mayo	13,8	13,43	6,4	5	11,6	11,16	61,39
Junio	12,6	16,49	6,8	5	10,2	16,38	67,47
Julio	12	16,83	6,8	5	10,4	16,2	67,23
Agosto	12,9	14,96	3,6	5	10	14,94	61,4
Septiembre	13,65	7,82	6	5	8,4	10,08	50,95
Octubre	13,5	16,83	6	5	9,8	11,88	63,01
Noviembre	13,65	16,49	6,4	5	10	14,04	65,58
Diciembre	13,8	16,83	6	5	9,6	16,38	67,61

Como se observa en la Figura 4, el índice fluctuó entre un máximo de 69,02 (enero) y un mínimo crítico de 50,95 (septiembre). Este último valor posiciona

al embalse en el límite inferior de la categoría Regular, muy próximo al rango de Mala calidad (25 - 49,9).

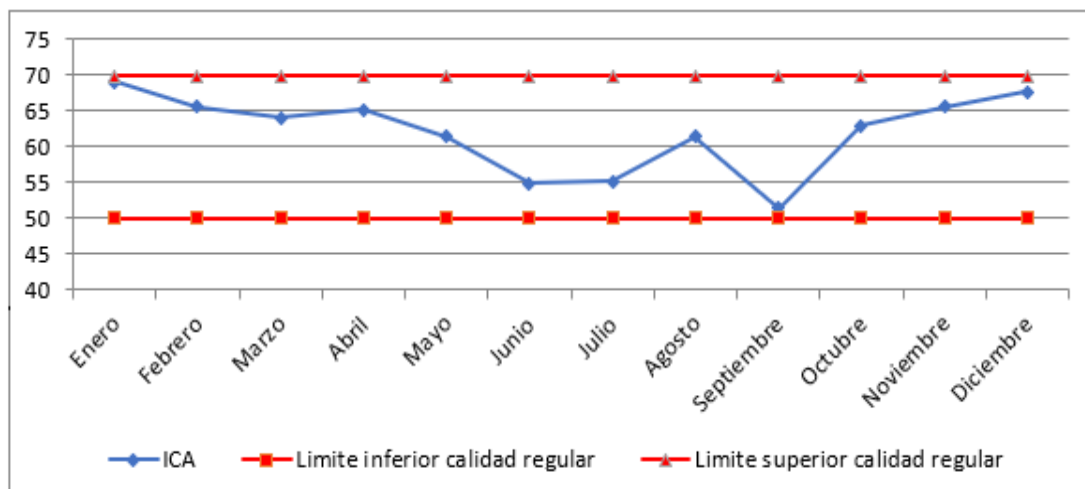


Fig. 4- Índice de calidad del agua del embalse Parada.

La caída del ICA en septiembre es una respuesta directa a la sinergia negativa entre el pico de turbidez y la elevada carga orgánica y microbiológica. Aunque algunos parámetros cumplen individualmente la norma, su incremento simultáneo reduce la calidad global del sistema. Este comportamiento estacional subraya la vulnerabilidad del embalse ante eventos hidrometeorológicos, los cuales actúan como mecanismos de transporte de contaminantes desde las áreas industriales y agrícolas circundantes hacia el vaso del embalse.

Conclusiones

1. La evaluación de los parámetros físico-químicos y microbiológicos en el embalse Parada reveló un cumplimiento general de la norma NC 1021:2014, con excepción de la Turbidez y la DBO_5 . El pH, los nitratos, los sólidos disueltos totales y los coliformes totales se mantuvieron dentro de los límites permisibles durante todo el periodo de estudio.
2. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) se identificó como el factor contaminante más crítico, con valores que superaron los estándares normados durante todo el año (6-16 mg/L). Según la clasificación de Orozco, estas concentraciones categorizan al recurso como agua contaminada por materia

orgánica biodegradable, lo que sugiere un impacto antropogénico sostenido en la cuenca.

3. Se determinó una marcada influencia estacional en la calidad del agua, evidenciada por el comportamiento anómalo de septiembre. En este mes, el incremento de las precipitaciones provocó un pico de turbidez (40 NTU) y el arrastre de contaminantes que llevó al embalse a su estado cualitativo más precario del año.

4. La aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA) permitió clasificar el recurso de manera integral como de calidad regular durante todo el ciclo anual. No obstante, el descenso del índice en septiembre a 50,95 unidades, en el límite inferior de su categoría, confirma la vulnerabilidad del embalse ante eventos de escorrentía y carga orgánica.

5. Los resultados obtenidos demuestran que, aunque el embalse es apto para el abasto bajo regímenes de tratamiento convencional, la persistencia de valores elevados de DBO_5 exige un fortalecimiento de las estrategias de monitoreo y control de vertimientos en la zona industrial y agrícola circundante para garantizar la seguridad hídrica de la población de Santiago de Cuba.

Referencia bibliográfica

1. 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) pp. 43-57. [Consultado: 18 de mayo de 2025]. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v44n3/1680-0338-riha-44-03-43.pdf>
2. 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: 3 de julio de 2025]. ISSN: 2224-6185. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852023000300587&script=sci_arttext&lng=en
3. CALVO-BRENES, Guillermo; ARAYA-ULLOA, Andrea. Evaluación de dos índices de calidad del agua en varios sitios de la quebrada La Central, Pacayas

de Alvarado, Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 2018, **31**(4), p. 73-83. [Consultado: 21 de noviembre de 2025]. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822018000400073

4. CHAVES-CHAVES, Elena. Aplicación del Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA) en la evaluación de calidad del agua en el río Ocloro, San José, Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 2025, p. 59-67. [Consultado: 11 de noviembre de 2025]. Disponible en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/7027

5. CHÁVEZ, Jorge Alberto Villena. Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*, 2018, **35**, p. 304-308. [Consultado: 11 de noviembre de 2025]. Disponible en: <https://www.scielo.org/article/rpmesp/2018.v35n2/304-308/es/>

6. 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>

7. 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 2025]. Disponible en: <https://cmad.ama.cu/index.php/cmad/article/view/141>

8. 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>

9. 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. [Consultado: 8 de noviembre de 2025]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9862398>
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://doi.org/10.24850/j-tyca-2025-01-05>
11. GONZÁLEZ-DÍAZ, Yudith; HERNÁNDEZ-KINDELÁN, Ivelisse; CAMBARA-GONZÁLEZ, David. Determinación del índice de calidad del agua en el río San Juan de Santiago de Cuba. *Chemical Technology*, 2025, **45**, p. 402-414. . [Consultado: 5 de enero de 2026]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852025000100402&script=sci_abstract&tlng=en
12. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for Examination of water and wastewater. 2022. 24th Edition. ISBN: 978-0875532998.
13. 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.
14. VILLENA, Jorge Alberto. Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*, 2018, **35**, p. 304-308. [Consultado: 11 de noviembre de 2025]. Disponible en: <https://www.scielo.org/article/rpmesp/2018.v35n2/304-308/es/>
15. 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=S168003382017000300004&script=sci_arttext&tlng=pt

16. OROZCO, C. *et al.* Contaminación Ambiental. Una visión desde la química. 1ra Edición. España: Editora Paraninfo S.A. Madrid, 2004, p. 590 [Consultado: 20 de marzo de 2025]. Disponible en: https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=nUoOx8knyUC&oi=fnd&pg=PA13&dq=19.%09OROZCO,+C.+et+al.+Contaminaci%C3%B3n+Ambiental.+Una+visi%C3%B3n+desde+la+qu%C3%ADmica.+&ots=HKWgZDAfwH&sig=rDKOStkNy_ZdPqjSSucVYs396_0

Conflictos de Interés

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Ivelisse Hernández Kindelán: obtención y procesamiento de datos, validación y redacción del borrador original.

Yudith González Díaz: conceptualización, supervisión, revisión y edición del manuscrito final.