

Evaluación de la calidad del agua potable en el municipio minero de Moa

Evaluation of Drinking Water Quality in the Mining Municipality of Moa

Amanda Fernández-Rodríguez^{1*}, Moraima Fernández-Rodríguez¹, Rafael M.
Guardado Lacaba¹

¹Universidad de Moa, Holguín, Cuba

*Autor para la correspondencia: afernandez@ismm.edu.cu

Resumen

Se evaluó la calidad del agua potable abastecida a la ciudad de Moa, Cuba, aplicando el Índice de Calidad de Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos (ICA-NSF) durante el año 2024, con el fin de verificar la eficiencia del proceso de tratamiento del agua que consume la población. Las aguas que entran al proceso de potabilización provienen del río Moa, el cual está rodeado por un entorno minero, y con un alto porcentaje de áreas deforestadas, con pendientes, que favorecen las escorrentías hacia la quebrada en tiempos de lluvia. Estos factores pueden afectar la calidad de las aguas, lo que exige un mayor consumo de reactivos químicos para su tratamiento. A partir del análisis de 1 460 muestras, se integraron nueve parámetros físico-químicos y microbiológicos. Los resultados mostraron que todos los parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por las normas cubanas NC 1021:2014 y NC 827:2017. El valor del ICA-NSF osciló entre 79,8 % y 84,6 %, con una media de 81,8 %, lo que clasifica al agua en la categoría de "buena calidad" según la escala del índice empleado. Se concluye que el proceso de potabilización en la Planta de Tratamiento es eficiente y entrega agua de buena calidad, apta para el consumo humano.

Palabras clave: tratamiento de agua, calidad del agua, ICA-NSF

Abstract

The quality of drinking water supplied to the city of Moa, Cuba, was evaluated over the course of one year using the Water Quality Index of the United States National Sanitation Foundation (WQI-NSF), with the aim of verifying the efficiency of the treatment process for the water consumed by the population. The water entering the purification process comes from the Moa River, which

is surrounded by a mining environment and a high percentage of deforested areas with slopes that favor runoff into the stream during rainy periods. These factors can affect water quality, requiring greater consumption of chemical reagents for treatment. Based on the analysis of 1,460 samples, nine physicochemical and microbiological parameters were integrated. The results showed that all parameters were within the permissible limits established by Cuban standards NC 1021:2014 and NC 827:2017. The WQI-NSF value ranged between 79,8 % and 84,6 %, with an average of 81,8 %, classifying the water in the "good quality" category according to the index scale. It is concluded that the purification process at the Treatment Plant is efficient and delivers good-quality water suitable for human consumption.

Keywords: water treatment, water quality, WQI-NSF

1. INTRODUCCIÓN

Las fuentes de agua superficial son eje de desarrollo de los seres humanos al permitir el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas, aunque algunas de estas actividades causan alteración y deterioro de las aguas. En general, las aguas superficiales están sometidas a contaminación natural (arrastre de material particulado y disuelto y presencia de materia orgánica natural) y de origen antrópico: efluentes de procesos industriales, descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, entre otros (Ariza-Restrepo *et al.* 2023)

El mayor impacto sobre la salud se da a través de los sistemas de abastecimiento de agua; la alteración de las características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas de la fuente de abastecimiento incide directamente sobre el nivel de riesgo sanitario presente en el agua, el cual se define como el riesgo de transportar agentes contaminantes que puedan causar al hombre y a los animales enfermedades de origen hídrico (Sarmiento *et al.*, 2019).

El agua potable es aquella que cumple con un conjunto de normas establecidas por instituciones nacionales e internacionales y que se considera no ocasiona daños a la salud del consumidor (Krishna & Achari, 2024).

La calidad del agua se define como un concepto complejo que implica un juicio subjetivo que es función del uso, y que además incluye una relación de parámetros físicos, químicos y biológicos que describe su composición, grado de alteración, y la utilidad del cuerpo hídrico (Larrea-Murrell *et al.*, 2022).

En toda comunidad, la calidad del agua potable es un determinante fundamental de la salud pública y el bienestar socioeconómico. En ciudades

industriales, donde la actividad minera puede tener efecto sobre los recursos hídricos, la vigilancia sistemática de la calidad de estos últimos se convierte en una prioridad esencial (Fernández-Rodríguez & Guardado-Lacaba, 2021).

Moa, región reconocida por su actividad minero-metalúrgica en el noreste de Cuba, no es ajena a esta realidad, lo que genera una necesidad constante de evaluar la eficiencia de los procesos de potabilización (Crespo-Lambert *et al.* 2022). Pese a la existencia de normativas nacionales rigurosas, como la NC 1021:2014 y la NC 827:2017, la aplicación de índices integradores de calidad, como el Índice de Calidad de Agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (ICA-NSF) de Estados Unidos, ofrece una perspectiva holística y sintética que facilita la comunicación y la toma de decisiones. Los índices de calidad del agua permiten la valoración general del cuerpo de agua, mostrando la variación espacial y temporal por medio de una fácil interpretación de categorías.

Este estudio tuvo como objetivo evaluar de manera integral, mediante la aplicación del ICA-NSF, la calidad del agua potable abastecida a la ciudad de Moa durante el año 2024, en un amplio conjunto de datos físico-químicos y microbiológicos, con el fin de validar la eficiencia del sistema de tratamiento y brindar una herramienta objetiva para la gestión hídrica local.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la planta potabilizadora, encargada de abastecer de agua para consumo humano a la ciudad de Moa. Se realizaron los análisis físico-químicos y bacteriológicos del agua tratada y un total de 1 460 muestras fueron analizadas en el periodo enero-diciembre 2024.

2.1. Análisis de indicadores de calidad

El análisis de los indicadores físico-químicos y bacteriológicos se llevó a cabo siguiendo las metodologías establecidas en el método estándar para el análisis de agua y aguas residuales (Gilcreas, 1966). Y se procesó mediante clasificaciones según De Miguel-Fernández (2020).

2.2. Análisis de calidad del agua

El análisis de la calidad del agua se llevó a cabo mediante la metodología ICA-NSF (Brown *et al.*, 1970), atendiendo a que cumple los siguientes criterios: a) amplio uso a nivel internacional, b) clasificación considerando el destino del recurso con fines de abastecimiento público y c) viabilidad de los parámetros a evaluar.

2.3. Metodología de diseño

El índice de calidad de agua (ICA) es una herramienta que permite identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un tiempo determinado. En general, el ICA incorpora datos de múltiples parámetros físicos, químicos y biológicos, en una ecuación matemática, mediante la cual se evalúa el estado del recurso.

Para determinar el ICA se calcularon promedios aritméticos de las valoraciones para todas las variables; los pesos temporales se calcularon dividiendo la importancia de cada parámetro sobre la valoración del peso de la variable de mayor importancia (el oxígeno disuelto). Así, los pesos temporales se dividieron individualmente entre la suma de los pesos temporales, lo que produjo los pesos finales (Osorio-Ortega *et al.*, 2021), tal como establece la metodología.

El ICA-NSF utiliza una suma lineal ponderada del efecto de las variables de respuesta y los resultados son expresados en forma numérica entera, en una escala de 0 a 100, donde los valores entre 0 y 25 representan una calidad muy pobre; de 26 a 50 mala; de 51 a 70 regular; de 71 a 90 buena, y entre 91 y 100 muy buena.

La metodología utiliza nueve parámetros y sus correspondientes factores de ponderación (Tabla 1) teniendo en cuenta la fórmula que se describe a continuación (ecuación 1):

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

Donde:

Q= Subíndice del parámetro i

W= Peso o factor de ponderación para el subíndice

El resultado final es interpretado de acuerdo con una escala de clasificación y color correspondiente a cada rango (Tabla 2).

Tabla 1. Factores de ponderación para calcular el ICA-NCF

Parámetro	Unidades	Factor de Ponderación (Wi)
Oxígeno Disuelto	%	0,17
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	0,16
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	0,10
pH	Unidad de pH	0,12
Nitratos	mg/l	0,10
Temperatura del Agua	°C	0,10
Fosfato Total	mg/l	0,10
Turbidez	UNT	0,08
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	0,08

Tabla 2. Criterio general de calidad de las aguas según el valor del ICA-NSF

ICA-NSF	Valor	Color
Excelente	91 - 100	
Buena	71 - 90	
Media	51 - 70	
Mala	26 - 50	
Muy mala	0 - 25	

Entre todos los índices de calidad de aguas existentes para estudios ambientales, el ICA-NSF tiene la particularidad de ser ampliamente utilizado debido a una combinación de características que lo hacen práctico, adaptable y reconocido a nivel internacional. Es un estándar de facto en evaluación ambiental porque combina solidez científica, practicidad comunicativa y flexibilidad aplicativa. Su diseño permite adaptaciones sin perder la comparabilidad global, lo que explica su superioridad frente a índices más locales o especializados.

2.4. Componentes para la evaluación del ICA

Se determinó: pH, oxígeno disuelto, turbidez, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, coliformes termotolerantes, temperatura del agua, fosfato total, sólidos disueltos totales (Quispe-Capcha y Villa-Cayetano, 2022; Sandoval de Avalar y Acosta-Martínez, 2025).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Clasificación de las aguas por el pH según Pasofox y el DBO₅

Los valores de pH variaron entre 7,4 y 8,3 (Figura 1). De forma general, las aguas se clasifican como débilmente básicas con valores entre 7,5 y 8,5.

Los valores de DBO₅ oscilaron entre 0,3 mg/l y 1,9 mg/l durante el período de estudio, cumpliendo con el límite establecido de 4 mg/l según la Norma Cubana 1021 (2014a). Se observó una correlación directa entre los valores de DBO₅ y pH, donde la disminución del pH (aumento de acidez) coincidió con menores valores de DBO₅. Esta relación se explica porque la acidez inhibe el desarrollo microbiano, reduciendo así la degradación de materia orgánica que determina la DBO₅ (Norma Cubana 1021, 2014)

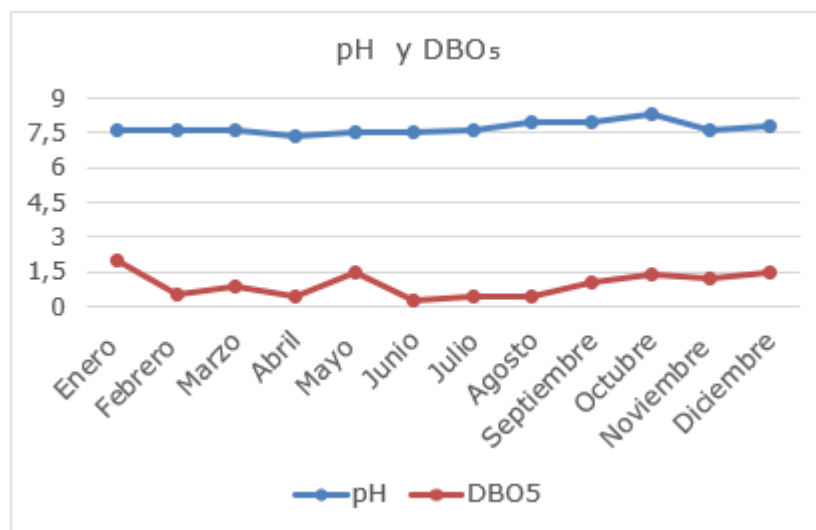


Figura 1. Comportamiento del pH y DBO₅.

3.2. Temperatura y mineralización

La temperatura del agua en el período analizado varió entre 23,5°C y 26°C (media 25°C), mostrando una relación directa con la temperatura ambiental según factores como la hora del día y la estación. Estos valores, que clasifican las aguas como tibias, 20°C -37°C, según De Miguel Fernández (2020), revelan fluctuaciones normales dentro del rango esperado para las condiciones ambientales del área de estudio (Figura 2).

Por su parte, la mineralización del agua, que refleja su contenido total de materia (en mg/l) es clave para determinar su uso. Aunque en las aguas naturales pueden encontrarse más de 60 elementos, solo algunos, como Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y Cl⁻, están presentes en cantidades significativas. Según los resultados, las aguas estudiadas tienen una mineralización menor a 1 g/l, lo

que las clasifica como dulces. Los meses con mayor mineralización (enero, marzo y abril) coincidieron con los de mayor pluviometría.

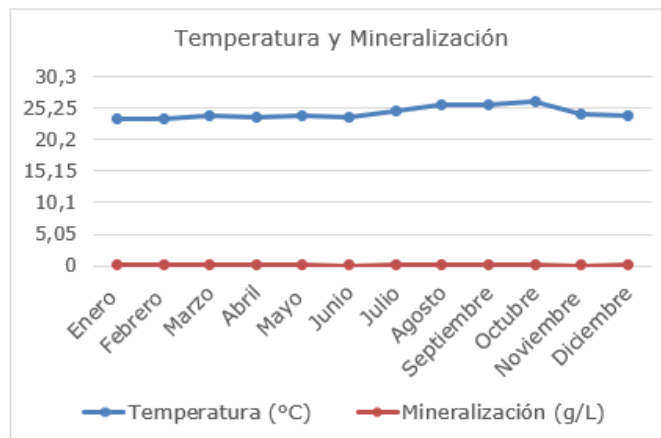


Figura 1. Comportamiento de la temperatura y mineralización.

La dureza del agua depende de las sales de calcio y magnesio (medidas en mg·eq/L). Según la clasificación de las aguas utilizada, son blandas, con valores entre 1,5 mg·eq/l y 3,0 mg·eq/l (Figura 3). Esa baja dureza se debe principalmente a los escasos niveles de calcio, influenciados por el entorno geológico del río, dominado por rocas ultrabásicas serpentinizadas. Tal patrón se mantuvo tanto en aguas crudas como tratadas.

3.3. Turbidez (NTU)

Durante las lluvias, la escorrentía arrastra sedimentos minerales que aumentan la turbidez del río, elevando el consumo de reactivos para cumplir con los estándares de calidad. En las aguas tratadas, la turbidez se mantuvo entre 0,4 NTU y 1,00 NTU, muy por debajo del límite máximo de 5 NTU recomendado por la OMS (2022) para agua potable.

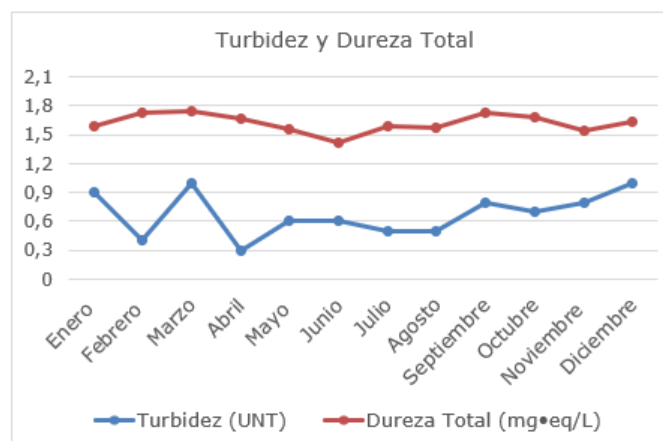


Figura 3. Comportamiento de la turbidez y la dureza total.

3.4. Clasificación de las aguas por su conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos

La conductividad eléctrica del agua ($165,3 \mu\text{s/cm}$ - $201,0 \mu\text{s/cm}$) refleja su contenido de sólidos disueltos (STD: $74,4 \text{ mg/l}$ - $90,0 \text{ mg/l}$), y muestra una relación directa entre ambos parámetros. Los valores máximos ocurren en diciembre debido al aumento de iones por escorrentía durante lluvias, acercándose al límite superior de conductividad ($200 \mu\text{s/cm}$) según Norma Cubana 827 (2017). Sin embargo, tanto la conductividad como los STD ($1\ 000 \text{ mg/l}$) se mantuvieron dentro de rangos potables (Figura 4), confirmando la calidad del agua para consumo, según OMS (2022), Norma Cubana 1021 (2014) y Norma Cubana 827 (2017).

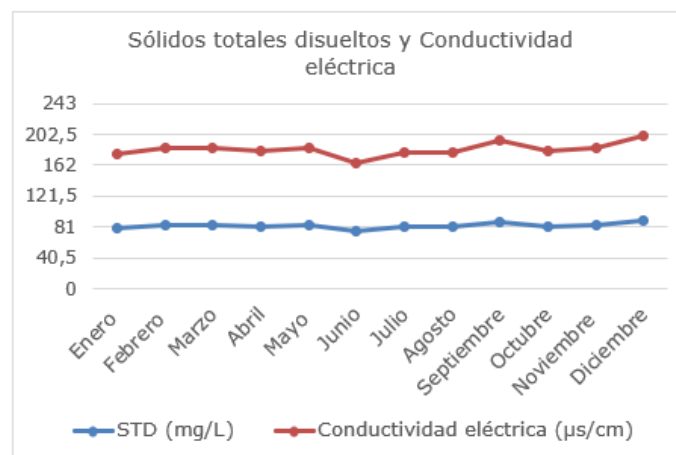


Figura 2. Comportamiento de los sólidos totales disueltos y la conductividad eléctrica.

3.5. Parámetros microbiológicos

La determinación de microorganismos en el agua de consumo y su concentración proporcionan herramientas de control, indispensables para la toma de decisiones. Los valores en las muestras en relación a los coliformes fecales se encontraron ausentes de NMP/100ml.

Se reportan valores de coliformes totales en cada uno de los meses de $-2,2$ NMP/100 ml, por debajo de los rangos permitidos según la Norma Cubana 827- 2017. Se puede concluir que según la bacteriología es un agua apta para el consumo humano.

3.6. Calidad de las aguas tratadas a través del ICA-NSF

El ICA-NSF se mueve en el rango de 71% - 90% . Los valores de este índice para las aguas de Moa que reciben tratamiento para consumo humano se

ubicaron entre 79,8 % - 84,6 %, en los 12 meses evaluados. El mínimo valor correspondió al mes de octubre (79,71 %), mientras el máximo se alcanzó en enero (84,58 %), la media fue de 81,84 %, la varianza de 29,69 %, lo que refleja buena calidad del agua para el consumo (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados mensuales de los valores del ICA-NSF

Año 2024	Valores mensuales del ICA Total									
	OD	Col. Fec.	pH	DBO ₅	T ° C	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻	Turb	STD	ICA total
Enero	15,1	15,2	10,7	8,8	23,5	9,7	9,3	7,8	5,9	84,6
Febrero	15,9	15,38	10,7	10,3	23,6	6,7	9,3	6,9	5,9	83,2
Marzo	16,5	15,4	10,7	10,3	24	6,7	9,4	6,8	5,8	80,4
Abril	15,9	15,41	10,2	10,5	23,7	6,9	9,2	6,9	5,8	82,9
Mayo	16,5	15,4	10,2	9,5	24,1	6,8	9,3	6,9	5,8	82,9
Junio	16,7	15,38	10,2	10,5	23,9	6,8	9,2	6,9	5,9	81,8
Julio	15,9	15,4	10,0	10,5	24,8	6,8	9,2	6,9	5,8	82,0
Agosto	14,8	15,4	9,4	10,5	25,8	6,4	9,3	6,9	5,8	82,4
Septiembre	15,9	15,4	9,4	10,2	25,8	6,4	9,2	6,8	5,9	81,2
Octubre	16,5	15,4	9,0	9,6	26,2	6,7	9,2	6,8	5,7	79,8
Noviembre	15,9	15,4	10,0	9,8	24,2	6,7	9,3	6,8	5,8	80,8
Diciembre	16,5	15,4	9,7	9,5	24	6,8	9,2	6,8	5,8	80,3

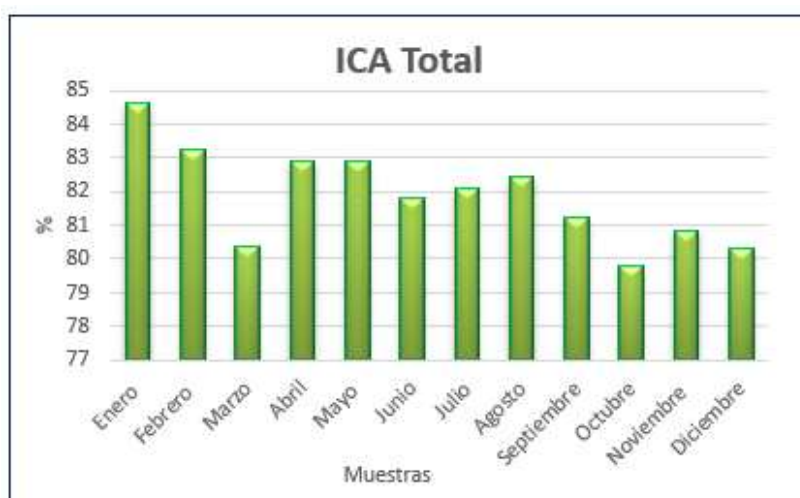


Figura 3. Representación gráfica del comportamiento del ICA-NSF en las muestras analizadas durante los 12 meses del año 2024.

4. CONCLUSIONES

- Las propiedades físicas y químicas determinadas en las aguas tratadas del municipio de Moa presentan valores por debajo de los límites admisibles, según NC: 1021:2014, NC: 827: 2017, y la Norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022). Se clasifican como hidrocarbonatadas-magnésicas-clóricas-cálcicas; por su dureza, como aguas muy blandas y por su pH, neutras y débilmente básicas.
- El Índice de Calidad del Agua (ICA-NSF) en los 12 meses evaluados está en el rango de 71 % - 90 %. Los valores de calidad para las aguas analizadas en el municipio de Moa variaron entre 79,8 % - 84,6 %, con un valor medio de 81,8 %, lo que indica que el proceso de potabilización en la Planta de Tratamiento es eficiente y entrega agua de buena calidad, apta para el consumo humano.

5. REFERENCIAS

- Ariza-Restrepo, Jaime Luis, Rodríguez-Díaz, Yim James, & Onate-Barraza, Hernando Carlos. (2023). Water quality indices (WQI) and contamination indices (WPI) a bibliographic review. *Tecnura*, 27(77), 121-140. Epub May 24, 2024.
<https://doi.org/10.14483/22487638.20052>
- Crespo-Lambert, M., Fernández-Rodríguez, M., & Pérez-García, L. A. (2022). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano según ICA de Montoya en el poblado de Yamanigüey. *Minería y Geología*, 38(2), 157-167.
<https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/2196>
- De Miguel-Fernández, C. (2020). *Hidrogeología aplicada con aspectos ambientales*. Editorial Digital Universitaria.
- Fernández-Rodríguez, M., & Guardado-Lacaba, R. M. (2021). Evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICAsup) en el río Cabaña, Moa-Cuba. *Minería y Geología*, 37(1), 105-119.
<https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/2029>
- Gilcreas, F. W. (1966). Método estándar para el análisis de agua y aguas residuales. *Revista Americana de Salud Pública y de las Naciones Unidas*, 56(3), 387-388.
- Krishna, B., & Achari, V. S. (2024). Groundwater for drinking and industrial purposes: A study of water stability and human health risk assessment from black sand mineral rich coastal region of Kerala, India. *Journal of Environmental Management*, 351, 119783.
- Larrea-Murrell, J. A., Romeu-Álvarez, B., Lugo-Moya, D., & Rojas-Badía, M. M. (2022). Aspectos fundamentales del monitoreo de calidad de las aguas: el río Almendares como caso de estudio. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 53(2), 148-159.

- NC 1021:14. (2014). Higiene comunal- fuentes de abastecimiento de agua- calidad y protección sanitaria. Normas de Calidad del agua. La Habana, Cuba.
- NC 827:17. (2017). Agua Potable- Requisitos Sanitarios. Normas de Calidad de agua. La Habana, Cuba.
- OMS. (2022). Agua para consumo humano. París. Retrieved 04 27, 2023, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Osorio-Ortega, M. A., García-González, J., Saquicela-Rojas, R. A., Cadme, M. (2021). Determinación del índice de calidad de agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Ingeniería Del Agua*, 25(2), 115-126.
- Quispe-Capcha, A. M., & Villa-Cayetano, P. M. (2022). Variación del índice de calidad de agua (Ica – NSF) en el Río Ichu adyacentes a las zonas urbanas del distrito de Huancavelica. <https://hdl.handle.net/20.500.14597/4844>
- Sandoval de Avalar, M.A. y Acosta-Martínez, A.A. (2025). Índice de calidad de agua ICA-NSF de la laguna Cuzcachapa, Chalchaupa, Santa Ana. 2023-2024. *Ciencia, Humanidad y Cultura*, 4(2), 108-124.
- Sarmiento, E. G., Pérez, J. R., & Ospino, L. O. (2019). Análisis de las tecnologías en sistemas de abastecimientos de agua potable. *Tercer Encuentro Nacional de Semilleros de Investigación de Ingeniería Industrial (ENSIII)-2019*, 21.

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron por igual

ORCID

AFR, <https://orcid.org/0009-0007-1239-814X>

MFR, <https://orcid.org/0000-0003-1211-3865>

RMGL, <https://orcid.org/0000-0003-1075-8176>

Recibido:18/10/2025

Aceptado:29/01/2026