

EVALUACIÓN FISICOQUÍMICA DE MUESTRAS DE AGUA SUPERFICIAL EN EL BAJO CAUCA ANTIOQUEÑO - COLOMBIA

Physicochemical evaluation of surface waters sampled in Bajo Cauca Antioqueño - Colombia

*Deysi Yessenia Arismendi Mazo - Grupo de Investigación Minero Ambiental SENA.
Correo electrónico: darismendi@sena.edu.co*

*Lina Marcela Cantero Domínguez - Grupo de Investigación Minero Ambiental SENA.
Correo electrónico: lmcantero@sena.edu.co*

*Karen Vanessa Peñates Álvarez - Grupo de Investigación Minero Ambiental SENA.
Correo electrónico: kvpentes@sena.edu.co*

Ricardo José Hoyos Tirado - Grupo de Investigación Minero Ambiental SENA. Correo electrónico: rjhoyos@sena.edu.co

Resumen

El presente estudio abarca el análisis de los parámetros fisicoquímicos de una muestra de agua superficial recolectada en la quebrada Villa, ubicada en el municipio de El Bagre, Antioquia, con el fin de determinar el índice de Calidad del Agua (ICA). Los parámetros evaluados incluyen conductividad eléctrica, pH, turbidez, temperatura, sólidos suspendidos totales, sólidos totales, acidez total, alcalinidad total, oxígeno disuelto, y demanda química de oxígeno. La quebrada Villa es una de las fuentes naturales más importantes, debido a que abastece al acueducto municipal para la disposición del recurso hídrico a la población y al sistema de acueducto de la empresa Mineros S.A. Caracterizar la calidad del agua es una actividad estratégica para la implementación de acciones que contribuyan en mejorar la salud ambiental de la quebrada, buscando impactar en el bienestar de la población y en la regeneración ambiental de los recursos naturales de la

región. Como resultado general, se obtuvo un valor numérico que califica la calidad del agua como aceptable, lo cual indica que puede ser adecuada para algunos usos.

Palabras clave: Índice de Calidad del Agua.

Abstract

This study presents an analysis of the physicochemical parameters of a surface water sample collected in Villa Stream, situated within the municipality of El Bagre, Antioquia. The parameters evaluated include electrical conductivity, pH, turbidity, temperature, total suspended solids, total solids, total acidity, total alkalinity, dissolved oxygen, and chemical oxygen demand. The Villa Stream is a significant natural resource, serving as a primary source of water for the municipal aqueduct and the Minero S.A. company's aqueduct system. The characterization of water quality represents a pivotal step in the implementation of measures aimed at enhancing the environmental health of the stream, with the ultimate objective of improving the well-being of the population and facilitating the regeneration of the region's natural resources. The overall result of this process is the attainment of a value for the indicator that categorizes the Villa stream water as suitable for the computation of the Water Quality Index (WQI).

Keywords: Water Quality Index.

1. Introducción

El agua es uno de los recursos fundamentales para el sostenimiento de la vida en el planeta y para el desarrollo de las actividades socioeconómicas que impulsan el progreso de un territorio. No obstante, el crecimiento demográfico, las actividades industriales y la expansión agrícola han aumentado la presión sobre el recurso hídrico, principalmente sobre cuerpos de agua superficiales, contribuyendo a su degradación tanto en términos de calidad como de cantidad (Torres et al., 2010).

En este escenario, los índices de calidad del agua (ICA) se han convertido en herramientas fundamentales para la evaluación y monitoreo de los recursos hídricos, permitiendo establecer la calidad del agua a través de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que reflejan los impactos de las actividades antropogénicas (Aguirre et al., 2016; Gil et al., 2018).

La subregión del Bajo Cauca, en el departamento de Antioquia se caracteriza por su gran riqueza hídrica, recurso fundamental para las comunidades locales y diversas actividades productivas, incluyendo la agricultura y la minería. Dichas actividades generan una presión significativa sobre la calidad del agua, en cuerpos hídricos como las quebradas y ríos que surten a la población de agua potable. La minería, en particular, ha sido identificada como una fuente importante de contaminación debido a la liberación de metales pesados y otros contaminantes que deterioran la calidad del agua (Piedrahita, 2018).

De esta forma, el presente estudio se enfoca en la evaluación fisicoquímica de una muestra de agua superficial en el Bajo Cauca Antioqueño, con el fin de determinar el estado actual de la calidad del agua y su idoneidad para diversos usos, como el abastecimiento doméstico y el consumo humano. El concepto de agua superficial hace referencia a la corriente hídrica que viaja a diferentes velocidades sobre la superficie terrestre y lo hace por lo general sobre cauces ya establecidos (Corporación Autónoma Regional del Tolima, sf).

La evaluación a realizarse en la presente investigación se basa en el análisis de parámetros como la conductividad eléctrica, pH, sólidos totales, oxígeno disuelto y demanda química de oxígeno. Algunos de estos parámetros han demostrado ser indicadores clave para identificar los niveles de contaminación y su impacto en los ecosistemas acuáticos (Aguirre et al., 2016).

En este sentido, la evaluación de la calidad del agua se realizó siguiendo la metodología del índice de Calidad del Agua (ICA) propuesta por el IDEAM (2011) en el marco de la Política Nacional para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Esto debido a que los antecedentes consultados coinciden en que el uso de índices de calidad del agua es una herramienta efectiva para evaluar el estado de los recursos hídricos en diferentes contextos (Piedrahita, 2018; Rubio et al., 2014; Torres et al., 2010).

De esta forma, el presente trabajo pretende contribuir al monitoreo y gestión de los recursos hídricos en la región, brindando información relevante que permita a las autoridades locales y a los usuarios del recurso hídrico tomar decisiones informadas respecto a su conservación y uso sostenible (Torres et al., 2010).

2. Marco teórico

El agua es un bien esencial para la vida en el planeta, indispensable tanto para la preservación de los ecosistemas y para el desarrollo de las actividades humanas. Razón por la cual, la calidad del agua es uno de los aspectos más relevantes en la gestión de los recursos hídricos, especialmente en áreas donde los cuerpos de agua se encuentran expuestos a contaminación por actividades antrópicas, como la agricultura, la minería y el desarrollo urbano (Gil-Marín et al., 2018). En el contexto de Colombia, la subregión del Bajo Cauca Antioqueño ha sido históricamente afectada por la minería y otras actividades extractivas, que han generado una presión significativa sobre sus recursos hídricos (Piedrahita, 2018). A continuación, se desarrollan los principales tópicos que se tendrán como base teórica del estudio.

Evaluación de la Calidad del Agua

Uno de los métodos más utilizados para evaluar la calidad del agua es el Índice de Calidad del Agua (ICA), que facilita la representación simplificada de los niveles de contaminación de un cuerpo de agua a partir de un conjunto de variables fisicoquímicas y microbiológicas. Entre las variables más comunes utilizadas en el cálculo del ICA se encuentran el pH, la conductividad eléctrica, el oxígeno disuelto, la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SST) (Piedrahita, 2018; Rubio et al., 2014; Torres et al., 2010). Los parámetros del índice permiten obtener una visión general del estado del agua, facilitando la comparación entre diferentes sitios y momentos, así como la identificación de las fuentes de contaminación (Aguirre et al., 2016).

En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM implementa el ICA en el monitoreo de corrientes superficiales, lo cual es clave para la gestión sostenible del recurso hídrico (IDEAM, 2011). El ICA no solo facilita la toma de decisiones al sintetizar información compleja en un valor numérico, sino que también permite clasificar la calidad del agua en diferentes categorías (Buena, Aceptable, Regular, Mala, Muy mala), como se muestra en la tabla 1 (Aguirre et al., 2016; IDEAM, 2011).

Tabla 1

Calificación de la calidad del agua

Calificación de la calidad del agua	Categoría de valores que puede tomar el indicador	Color
Buena	0,91 - 1,00	Azul
Aceptable	0,71 - 0,90	Verde
Regular	0,51 - 0,70	Amarillo
Mala	0,26 - 0,50	Naranja
Muy mala	0,00 - 0,25	Rojo

Nota: IDEAM (2011).

EL IDEAM, ofrece la siguiente definición del índice de Calidad del Agua:

Es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco o seis variables, registradas en una estación de monitoreo j en el tiempo t (IDEAM, 2011, p. 1).

Los valores obtenidos del indicador se contrastan con los que figuran en la tabla de interpretación, lo que permite clasificar la calidad del agua en las categorías definidas por la metodología. Esta clasificación, apoyada en las cinco categorías y sus colores, facilita la interpretación de los resultados, permitiendo identificar de manera sencilla las tendencias en la calidad del agua, como su deterioro, estabilidad o mejora, y proporciona una base clara para

definir los usos potenciales de los cuerpos de agua y para la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes (IDEAM, 2011).

Impacto de las Actividades Antrópicas

Las actividades antrópicas han sido identificadas como una de las principales fuentes de contaminación hídrica, generando graves consecuencias para los ecosistemas acuáticos y la salud humana. Afectando gravemente la vida silvestre y limitando el acceso a agua limpia para las comunidades humanas.

Al respecto, la minería, junto con la expansión agrícola y la deforestación, son algunas de las causas de contaminación de cuerpos hídricos. Estas actividades pueden introducir al agua metales pesados, materia orgánica, entre otros, afectando negativamente la calidad de los cuerpos de agua superficiales. Estudios han demostrado que la actividad minera es una de las principales causas del deterioro de la calidad del agua en regiones con alta predominancia de dicha actividad económica (Piedrahita, 2018).

Herramientas y Métodos de Evaluación

El uso de herramientas como el ICA permite establecer de manera integral el estado de la calidad del agua, facilitando la identificación de las fuentes de contaminación y su impacto en los ecosistemas y la salud pública (Piedrahita, 2018). Estudios previos han demostrado la eficacia del ICA en la toma de decisiones, al proporcionar un marco estandarizado que simplifica el monitoreo de los cuerpos de agua y su gestión (Gil et al., 2018).

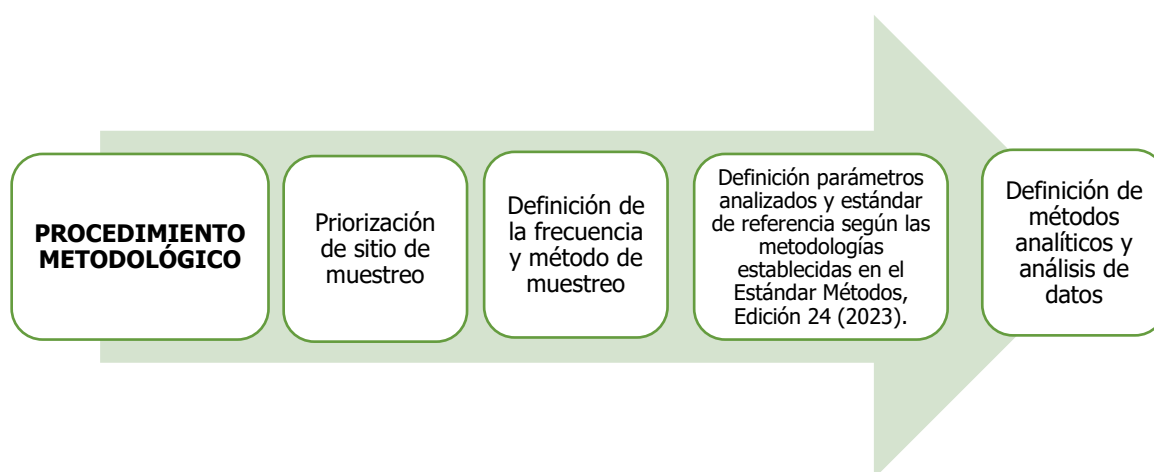
La evaluación fisicoquímica del agua superficial en el Bajo Cauca Antioqueño resulta crucial para garantizar el uso sostenible del recurso hídrico. La implementación de metodologías estandarizadas como el ICA facilita el seguimiento de la calidad del agua y promueve la adopción de políticas y medidas de conservación (Aguirre et al., 2016; Gil et al., 2018).

3. Metodología

Este estudio se realizó mediante una revisión bibliográfica y análisis de laboratorio. La Figura 1 presentada a continuación, muestra detalladamente las etapas desarrolladas en el proceso de investigación, ofreciendo una visión clara de la metodología adoptada.

Figura 1

Propuesta metodológica



***Nota:* Elaboración propia.**

Con respecto a la priorización del sitio de muestreo, vale aclarar, que el presente estudio se centró en la evaluación de la calidad del agua superficial en la subregión del Bajo Cauca Antioqueño, la cual es conocida por sus intensivas actividades mineras y agrícolas. En este sentido, se seleccionó estratégicamente un punto de muestreo en un cuerpo de agua de relevancia ecológica y económica. La muestra se recolectó en condiciones adecuadas para el análisis fisicoquímico, asegurando que se recogiera a una profundidad apropiada para obtener una representación precisa de la calidad del agua.

El procedimiento guía para la toma de muestra es el descrito en el protocolo de monitoreo y seguimiento del agua 2021, referente a la toma de muestra en aguas superficiales. Al respecto el protocolo indica que:

Las mediciones se hacen recolectando las muestras puntuales en un lugar representativo del cuerpo de agua, se pueden tomar con recolectores para el caso de ríos profundos, lagos, embalses, estuarios o el mar, que permiten recolectar las muestras a una profundidad determinada. En ríos de poca profundidad o arroyos se puede tomar directa la muestra, introduciendo el envase recolector en el agua. Se debe considerar que la medición no implique un riesgo para el personal que realiza la medición, en caso de muestrear en ríos un poco más profundos se deben utilizar las medidas de seguridad respectivas para salvaguardar la vida del personal (IDEAM e INVAMEN, 2021, p. 521).

Para el análisis de la muestra de agua recolectada, se consideraron parámetros fisicoquímicos fundamentales, que incluyen conductividad eléctrica, pH, sólidos totales, oxígeno disuelto, y demanda química de oxígeno, en función del Índice de Calidad del Agua (ICA). Como se indicó con anterioridad, este índice clasifica la calidad del agua en cinco categorías, permitiendo la comparación de los resultados con estudios que antecedieron la presente investigación, de esta forma ofreciendo una evaluación general de la calidad del agua superficial en el municipio de El Bagre. Adicional, es importante establecer que de acuerdo con el protocolo de monitoreo y seguimiento del agua 2021 los parámetros como el Ph, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y temperatura se realizaron en campo.

A continuación, se desarrollarán los aspectos definidos en la propuesta metodológica presentada en la Figura 1.

Sitio de muestreo: La Quebrada Villa, ubicada en el municipio de El Bagre, en el departamento de Antioquía, es la fuente hídrica que abastece de agua al sistema de acueducto de la empresa Minero S.A y al acueducto del municipio de El Bagre. La muestra fue tomada en ese sitio, debido a que era de fácil acceso y brinda una buena homogenización de la muestra, tal como lo especifica el documento guía referente al protocolo de monitoreo y seguimiento del agua 2021.

Figura 2

Punto de muestreo, Quebrada Villa



Nota: Registro fotográfico realizado por los autores.

Frecuencia y método de muestreo: Se realizó una toma de muestra puntual en la quebrada Villa, teniendo como guía el protocolo de monitoreo y seguimiento del agua - IDEAM 2021, el cual estipula este tipo de muestreo para aguas superficiales. La profundidad de la quebrada es alrededor de 50 cm y la muestra fue tomada aproximadamente a una profundidad de 25-30 cm. Para realizar la toma de la muestra, se utilizaron materiales tales como: baldes, cuerdas, epp, cavas, recipientes para el almacenamiento, equipos de medición in – situ, entre otros.

Figura 3

Toma de muestra y materiales utilizados



Nota: Registro fotográfico realizado por los autores.

Parámetros analizados y estándar de referencia según las metodologías establecidas en el Estándar Métodos, Edición 24 (2023): pH (SM:4500 H+-B. Método Electrométrico), conductividad eléctrica (SM:2510 B), temperatura (SM:2550 B), oxígeno disuelto (SM:4500 O-G. Método de membrana electrodo), turbidez (SM:2130 B), sólidos totales (SM:2540 B), sólidos sedimentables (SM:2540 F), alcalinidad total (SM:2320 B), acidez total (SM:2310 B), demanda química de oxígeno (SM:5220 C).

Métodos analíticos y análisis de datos: Los equipos y controles de calidad utilizados se realizaron teniendo en cuenta lo establecido en cada uno de los apartados de control de calidad y de las técnicas metodológicas descritas en el Estándar Métodos, Edición 24: 2023. Con respecto

al análisis de datos, estos fueron analizados siguiendo la metodología del índice de Calidad del Agua (ICA) propuesta por el IDEAM (2011).

4. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de la calidad del agua, aplicando el Índice de Calidad del Agua (ICA) propuesto por el IDEAM (2011) y siguiendo el proceso metodológico planteado para la presente investigación. La tabla 2, resume los datos obtenidos a partir del análisis de laboratorio, realizado a la muestra de agua recolectada.

Tabla 2

Resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados

PARAMETRO	METODOLOGÍA	RESULTADO	UNIDADES
pH	SM:4500 H ⁺ -B	5,64	pH
Conductividad eléctrica	SM:2510 B	34,4	μS/cm
Oxígeno disuelto	SM:4500 O-G	5,72	mg de O ₂ /L
Sólidos totales	SM:2540 B	210,00	mg ST/L
Demanda química de oxígeno	SM:5220 C	15,00	mg de O ₂ /L
Turbidez	SM:2130 B	174	NTU
Sólidos sedimentables	SM:2540 F	0,30	mL SSED/L
Alcalinidad total	SM:2320 B	12,26	mg CaCO ₃ /L
Acidez total	SM:2310 B	3,02	mg CaCO ₃ /L
Demanda química de oxígeno	SM:5220 C	15,00	mg de O ₂ /L

Nota: Datos de la investigación.

Como se mencionó anteriormente el Índice ICA es el valor numérico que califica en una de cinco categorías, la calidad del agua de una corriente superficial, con base en las mediciones obtenidas para un conjunto de cinco variables, la fórmula de cálculo del indicador es:

$$ICA = \sum_{i=1}^6 (subi * wi)$$

Donde,

Subi: Subíndice del parámetro i.

Wi: Pesos relativos asignados a cada parámetro (Subi), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

El ICA se calcula mediante la ponderación de cinco variables clave (pH, Oxígeno Disuelto, Conductividad eléctrica, Demanda química de oxígeno y Sólidos suspendidos totales). Cada una de estas variables recibe un peso relativo como se evidencia en la tabla 3.

Tabla 3

Pesos relativos asignados a los parámetros del ICA

Variable	Unidad de medida	Wi (peso relativo)
Oxígeno Disuelto OD	% saturación	0,2
Sólidos suspendidos totales SST	mg/l	0,2
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/l	0,2
Conductividad Eléctrica CE	μS/cm	0,2
pH	Unidades de pH	0,2

Nota: IDEAM (2011).

De acuerdo con el cálculo del indicador (tabla 4), el valor ICA obtenido fue de 0,72. Al comparar el resultado con los valores de referencia definidos en las tablas de interpretación es posible clasificar la calidad del agua, en la categoría de aceptable, la cual a su vez se asocia a color verde en la escala de colorimetría.

Tabla 4

Cálculo del ICA

Variable	Subi	ICA
Oxígeno Disuelto - OD	0,9	0,18
Sólidos suspendidos totales - SST	0,44	0,08
Demanda Química de Oxígeno - DQO	0,91	0,18
Conductividad Eléctrica - CE	0,94	0,18
pH	0,49	0,10
ICA		0,72

***Nota:* Datos de la investigación.**

Por último, es posible afirmar que el agua de la quebrada Villa presenta condiciones que, si bien no son óptimas, permiten su uso bajo condiciones adecuadas y de acuerdo con el propósito de uso. Esta clasificación, representada por el color verde, indica que el agua no presenta niveles de alarmantes de contaminación.

5. Conclusiones

En conclusión, los resultados del análisis fisicoquímico y del cálculo del ICA sugieren que el agua de la quebrada Villa es apta para ciertos usos, pero con necesidad de monitoreo continuo. Las acciones de manejo y conservación deben enfocarse en mantener o mejorar los parámetros que influyen de manera directa en la calidad del recurso hídrico para asegurar su sostenibilidad. Finalmente, es posible realizar las siguientes consideraciones respecto a los resultados de la presente investigación:

- El ICA obtenido refleja las condiciones fisicoquímicas del agua de la quebrada villa, el cual permite categorizar el valor obtenido en aceptable, indicando así el uso que se le puede dar para determinadas actividades.

- A lo largo del estudio realizado, se obtuvo una recopilación de datos bibliográficos respecto al índice de calidad del agua de la quebrada villa desde el año 2012 a 2018, donde la categorización se ha mantenido en aceptable.

- Se requiere un estudio más detallado, incluyendo análisis microbiológicos y químicos, para identificar el índice de contaminación (ICOMI, ICOMO, ICOSUS, ICOTRO).

Referencias bibliográficas

- Aguirre Cordón, M. R., Vanegas Chacón, E. A., y García Álvarez, N. (2016). *Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 25(2), 39-43.
- Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA). (sf). ¿Qué es agua superficial?. <https://cortolima.gov.co/servicio-al-ciudadano/glosario/591-que-es-agua-superficie>
- Gil-Marín, J. A., Vizcaino, C., y Montañó-Mata, N. J. (2018). *Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela*. Anales Científicos, 79(1), 111-119. <https://doi.org/10.21704/ac.v79i1.1146>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) e Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR). (2021). *Protocolo de monitoreo y seguimiento del agua*. Bogotá, DC, Colombia: IDEAM. <https://cortolima.gov.co/servicio-al-ciudadano/glosario/591-que-es-agua-superficial>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2011). *Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial*. 10 p.
- Piedrahita Vera, J. E. (2018). *Análisis del Índice de Calidad del Agua (ICA) e Índice de Contaminación del Agua (ICOS) en quebrada Villa ubicada en El Bagre, Antioquia (Tesis de especialización)*. Universidad Santo Tomás, Bogotá, D.C.
- Rubio Arias, H. O., Ortiz Delgado, R. C., Quintana Martínez, R. M., Saucedo Terán, R. A., Ochoa Rivero, J. M., y Rey Burciaga, N. I. (2014). *Índice de calidad de agua (ICA) en la presa La Boquilla en Chihuahua, México*. Revista Científica, 1(2), 139-150.

Torres, P., Cruz, C. H., Patiño, P., Escobar, J. C., y Pérez, A. (2010). Aplicación de índices de calidad de agua (ICA) orientados al uso de la fuente para consumo humano. Ingeniería e Investigación, 30(3), 86-95.