

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v8i16.0308>

ANÁLISIS DEL ESTADO DE CALIDAD DEL AGUA UTILIZANDO EL ÍNDICE NSF Y PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA LA MICROCUENCA NAGSICHE EN SALCEDO, COTOPAXI

WATER QUALITY STATUS ANALYSIS USING THE NSF INDEX AND WATER TREATMENT PROPOSAL FOR THE NAGSICHE MICRO-BASIN IN SALCEDO, COTOPAXI

Salazar-Corrales Cristian Paul ¹; Bayas-Altamirano Myriam Marisol ²

¹ Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.
Correo: csalazar2841@uta.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-2634-8178>.

² Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.
Correo: mm.bayas@uta.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4221-7251>.

Resumen

En este estudio se estableció la calidad del agua en la microcuenca del río Nagsiche, en la provincia de Cotopaxi, utilizando el método ICA-NSF. En esta investigación se tuvieron en cuenta tres áreas de muestreo (alta, media y baja) ubicadas en las parroquias de Yanahurco, Cusubamba y Panzaleo. El método utilizado fue de carácter cuantitativo, ajustándose al índice de calidad del agua sugerido por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos. Los hallazgos indican que, en la cuenca alta, se registró un AQI promedio de 66.71, lo que da una clasificación de regular. En la cuenca media, se proporcionó un AQI promedio de 60.97, clasificándolo como regular. En la cuenca baja, se proporcionó un AQI promedio de 57.65, lo que le dio una clasificación regular. En consecuencia, la calidad del agua en la microcuenca del Nagsiche tiene un promedio de 61.77, con respecto a las tres áreas de muestreo, se registró como regular debido a la existencia de actividades humanas realizadas en las aproximaciones al río.

Palabras clave: Microcuenca Nagsiche, Calidad del agua, ICA, NSF, Puntos de muestreo, riberas.

Abstract

This study established the water quality in the Nagsiche River micro-basin in the province of Cotopaxi, using the ICA-NSF method. Three sampling areas (upper, middle, and lower) located in the parishes of Yanahurco, Cusubamba, and Panzaleo were considered. The method used was quantitative, adhering to the water quality index suggested by the National Sanitation Foundation of the United States. The findings indicate that the upper basin had an average AQI of 66.71, classifying it as fair. The middle basin had an average AQI of 60.97, also classifying it as fair. The lower basin had an average AQI of 57.65, also classifying it as fair. Consequently, the water quality in the Nagsiche micro-basin has an average of 61.77, with respect to the three sampling areas, it was recorded as regular due to the existence of human activities carried out in the approaches to the river.

Keywords: Nagsiche Microbasin, Water Quality, ICA, NSF, Sampling Points, Riverbanks.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 02 de septiembre de 2025.

Fecha de aceptación: 05 de noviembre de 2025.

Fecha de publicación: 04 de diciembre de 2025.



1. Antecedentes

La contaminación natural y humana de las fuentes de agua restringe su uso, principalmente para el consumo humano. La determinación de la calidad del agua representa un desafío científico, y su resolución debe ser un paso crucial en el desarrollo de precedentes científicos en la gestión de los recursos acuáticos [1],[2].

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) y otros organismos internacionales, la calidad del agua se puede definir como la condición del agua en cuanto a sus propiedades físicas, químicas y biológicas, ya sea en su estado natural o después de ser modificada por la intervención humana [3]. Sin embargo, la mayor parte de la contaminación humana presente en los ecosistemas acuáticos se debe a fuentes naturales o artificiales de contaminación, originadas por catástrofes naturales o derivadas de acciones humanas como la emisión de sustancias nocivas o radiactivas, el calentamiento del agua debido a la refrigeración industrial, la liberación de agentes nocivos, entre otros efectos nocivos [4].

La degradación de los cuerpos de agua dulce en América Latina siempre ha sido una preocupación constante debido al vertido de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales sin tratamiento previo. Investigaciones realizadas en países como: México, Colombia, Perú y Brasil han demostrado la utilidad del Índice de Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation (NSF) para diagnosticar la contaminación en ríos o cuencas hídricas y establecer mecanismos orientados a establecer estrategias de mitigación, recuperación y manejo sostenible de las microcuencas.

En el Ecuador, como en el resto del mundo, las cuencas y microcuencas constituyen una fuente de producción de agua, vital para las actividades domésticas, agrícolas y pecuarias de la población. Sin embargo, la intensificación del uso del suelo, el vertido de desechos y la deforestación en zonas de recarga han comprometido su calidad, y en particular, la microcuenca del río Nagsiche no es la excepción, por lo que el presente trabajo permitirá determinar la calidad del agua y

establecer una propuesta de tratamiento.

2. Introducción

La evaluación de la calidad del agua en los recursos hídricos se considera actualmente una necesidad debido al aumento constante de la contaminación. Por lo tanto, el estudio del agua se convierte en la solución principal para garantizar que sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas sean adecuadas para diversos usos, como lo es el consumo humano o el riego. Sin embargo, el establecimiento del índice de calidad del agua se basa en varias técnicas utilizadas en diferentes campos, tales como: el Índice General de Calidad (GQI), el Índice General Simplificado de Calidad del Agua (GSQI), el Índice Automático de Calidad del Agua (AWQI), el Índice Holandés de Calidad del Agua (DWQI) y el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF-WSI), cada metodología ofrece procedimientos y métodos de estimación de acuerdo con los parámetros a considerar,

ponderaciones, principales usos y restricciones[5],[6],[7].

La microcuenca del río Nagsiche, ubicada en el cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, enfrenta desafíos relacionados con la calidad del agua y el ecosistema, originados por elementos antropogénicos producidos por la población cercana al río. Por lo tanto, este estudio se centra en la necesidad urgente de mantener la calidad del agua en la microcuenca utilizando la metodología ICA-NSF. Esta metodología facilitará el estudio físico-químico y microbiológico de 9 parámetros (temperatura, oxígeno disuelto, pH, sólidos disueltos totales, turbidez, nitratos, fosfatos, BBO y coliformes fecales), con el fin de determinar técnicamente la calidad del recurso. Por otro lado, la comparación con la normativa ambiental vigente asegura la protección, preservación y sostenibilidad del ecosistema [8], [9], [10].

Se ha observado el uso inadecuado de colectores de aguas residuales, la implementación de agroquímicos y en la mayoría de los casos, descargas directas de agua residual

domesticas e industriales a quebradas o ríos aledaños, por ello los cuerpos de agua han experimentado un rápido deterioro en su calidad a lo largo del tiempo. El desarrollo de una investigación basada en estrategias para determinar la calidad del agua en la cuenca alta, media y baja del río Nagsiche en la provincia de Cotopaxi, Ecuador, tiene como propósito examinar los parámetros de calidad del agua a través de la metodología basada en el modelo de análisis sugerido por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos (ICA-NSF) [11], [12], [13],[14]. Se basó en una clasificación de la calidad del agua en varios niveles, de pésima a excelente, según el índice adquirido, utilizando ocho (8) parámetros fisicoquímicos y uno (1) microbiológico. Como la mayoría de los ríos de nuestro país fluyen a través de industrias, sectores agrícolas y áreas urbanas y rurales, las aguas superficiales han sufrido impactos directos e indirectos debido a la contaminación humana [15],[16].

3. Metodología

Los niveles de esta investigación inician en identificar tres (3) puntos de muestreo en la zona de estudio dentro de la microcuenca el río Nagsiche para obtener muestras sobre los parámetros físico, químicos y microbiológicos del agua, utilizando el método deductivo y las muestras de agua recolectadas, se analizó el nivel de contaminación y calidad del agua de la microcuenca utilizando la metodología NSF, con el objetivo de determinar el nivel de calidad del recurso hídrico [17], [18].

3.1 Identificación de puntos de muestreo

Se determinaron tres áreas de muestreo mediante la caracterización de la microcuenca del río Nagsiche, a diferentes áreas de contaminación y actividades humanas cercanas a las riberas de los ríos: cuenca alta, cuenca media y cuenca baja, para la recolección de muestras fisicoquímicas y microbiológicas, de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 (ver Tabla 1) [17] , [18].

Tabla 1. Registro obtenido por el estudiante

Puntos de muestreo	Coordenadas UTM		M.S.N.M	Lugar
1	750278	9884072	3365	Yanahurco (cuenca alta)
2	75395	9882896	2898	Cusubamba (cuenca media)
3	766096	9882602	2615	Panzaleo (cuenca baja)

3.2 Parámetros físicos, químicos y microbiológicos

A treves de solicitud a instituciones públicas se obtuvo información de

resultados de análisis de agua en el río Nagsiche desde el año 2021 al 2023 (ver Tabla 2), no se obtuvo información para el año 2024.

Tabla 2. Recopilación de información por año

Año	Número de parámetros por año		
	Cuenca Alta	Cuenca Media	Cuenca Baja
2021	-	4/9 - 24/35	-
2022	4/9 - 30/35	-	4/9 - 30/35
2023	9/9 - 30/35	9/9 - 11/36	9/9 - 30/35

El estudio del río Nagsiche fue realizado a través de un ensayo de laboratorio llevado a cabo por la empresa IPGM Servicios Ambientales Cía. Ltda., la cual se encargó del análisis de muestras recolectadas en el año 2025, tanto en la temporada lluviosa como seca,

con el fin de presentar los valores resultantes de los parámetros en dicho cuerpo hídrico (ver Tabla 3), siguiendo los protocolos establecidos para garantizar resultados precisos y confiables. Los resultados presentes en dicha Tabla corresponden a las condiciones más críticas del río.

Tabla 3. Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Parámetros analizados	Unidad	Cuenca alta	Cuenca media	Cuenca baja
DBO5	mg/L	14	102.3	175.2
Fosfatos totales	mg/L	0.21	0.24	0.32
Nitratos	mg/L	3.4	0.15	0.3
Oxígeno disuelto	mg/L	7.2	7.12	6.83
pH	Uph	7.8	8.18	8.06
Cambio de temperatura	°C	-3.5	-3.5	-3.5

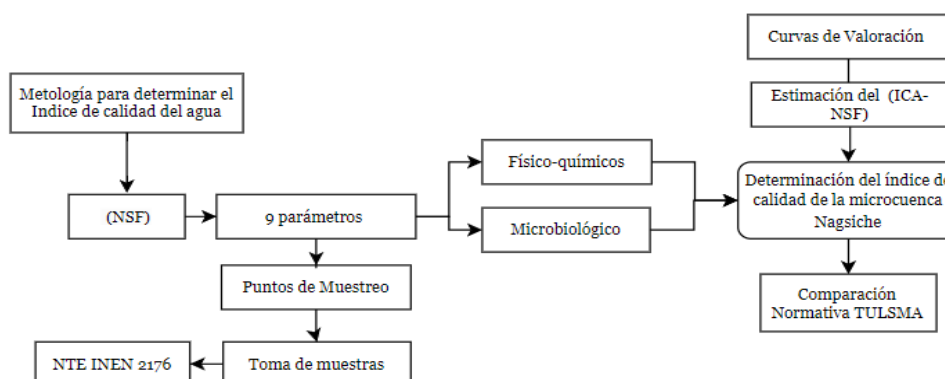
Sólidos totales disueltos	mg/L	142	62.4	191
Turbidez	NTU	28	36	57.8
Coliformes fecales	NMP/ 100mL	85	620	1200

3.3 Cálculo del índice de calidad de agua (ICA-NSF)

La metodología de la NSF (National Sanitation Foundation, EE. UU.) es valorada en este artículo debido a que permite estimar de manera cuantitativa la calidad del agua a

través de un sistema de ponderaciones asignadas a cada uno de los nueve parámetros evaluados. Este enfoque, de uso internacional y comúnmente aplicado en ríos, ofrece una visión integral del estado del recurso hídrico.

Fig. 1: Esquema metodológico



El ICA asume un valor máximo establecido de 100 para condiciones ideales, que disminuye con el aumento de la contaminación en el curso de agua bajo análisis. Después del cálculo, la calidad del agua se clasifica de acuerdo con el índice de calidad del agua "General" (ver Tabla 4) [19].

- Las aguas con un ICA superior a 90 pueden tener una buena diversidad de vida acuática.

- Las aguas con ICA en la categoría regular suelen tener una baja diversidad de vida acuática y a menudo promueven la proliferación de algas.
- Las aguas pobres de ICA pueden tener solo una baja diversidad de vida acuática y probablemente enfrenten dificultades con la contaminación.
- Las aguas con ICA deficiente pueden tener una variedad

restringida de formas de vida acuática, presentar numerosos problemas y, por lo general, no son adecuadas para actividades que requieren contacto directo con ellas, como nadar.

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (sub_i * w_i) \quad (1)$$

Dónde:

- w_i = ponderaciones relativas correspondientes a cada parámetro (sub_i) y ponderadas entre 0 y 1, para garantizar que la suma sea igual a uno.
- sub_i = subíndice del parámetro i , proporcionado a través de representaciones gráficas o interpolación para realizar la suma [20].

Tabla 4. Clasificación ICA propuesta por Brown (NLSS, 2d. C.)

Calidad del agua	Color	Valor
Excelente		91 a 100
Bien		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Las ponderaciones relativas (W_i) se utilizan para calcular y determinar la calidad del agua para cada

parámetro, por lo que los cálculos obtenidos del índice de calidad de agua son los siguientes (ver Tabla 5)

Tabla 5. Cálculos obtenidos de la cuenca del Río Nagsiche

PARÁMETROS ANALIZADOS	RESULTADO CUENCA ALTA			
	CUENCA ALTA	Subi	Wi	Subi*Wi
DBO5	14	23.5	0,11	2.59
Fosfatos totales	0.21	84	0,10	8.4
Nitratos	3.4	80	0,10	8
Oxígeno disuelto	7.2	83	0,17	14.11
pH	7.8	87.6	0,11	9.64
Cambio de temperatura	-3.5	67	0,10	6.7
Sólidos totales disueltos	142	79	0,07	5.53
Turbidez	28	53.5	0,08	4.28
Coliformes fecales	85	46.7	0,16	7.47
		TOTAL	1,00	66.71

RESULTADO CUENCA MEDIA

PARÁMETROS ANALIZADOS	CUENCA MEDIA	Subi	Wi	Subi*Wi
DBO5	102.3	2	0,11	0.22
Fosfatos totales	0.24	82	0,10	8.2
Nitratos	0.15	95	0,10	9.5
Oxígeno disuelto	7.12	81.5	0,17	13.86
pH	8.18	77.3	0,11	8.5
Cambio de temperatura	-3.5	67	0,10	6.7
Sólidos totales disueltos	62.4	86.8	0,07	6.08
Turbidez	36	48.5	0,08	3.88
Coliformes fecales	620	25.2	0,16	4.03
		TOTAL	1,00	60.97

RESULTADO CUENCA BAJA

PARÁMETROS ANALIZADOS	CUENCA BAJA	Subi	Wi	Subi*Wi
DBO5	175.2	2	0,11	0.22
Fosfatos totales	0.32	78	0,10	7.8
Nitratos	0.3	94.5	0,10	9.45
Oxígeno disuelto	6.83	77	0,17	13.09
pH	8.06	82.3	0,11	9.05
Cambio de temperatura	-3.5	67	0,10	6.7
Sólidos totales disueltos	191	73.2	0,07	5.12
Turbidez	57.8	35	0,08	2.8
Coliformes fecales	1200	21.3	0,16	3.41
		TOTAL	1,00	57.65

3.4 Clasificación y comparación de la calidad del agua

Completados los cálculos para obtener los valores que definen la calidad del agua a través de nueve (9) parámetros, se obtuvo la clasificación del Índice de calidad del

agua conforme la metodología del ICA-NSF para las cuenca alta, media y baja en la microcuenca del río Nagsiche (ver Tabla 6).

Tabla 6. Clasificación ICA-NSF – Río Nagsiche

Muestra	Lugar	Clasificación ICA-NSF	Valor
1	Yanahurco (cuenca alta)	Regular	66.71
2	Cusubamba (cuenca media)	Regular	60.97
3	Panzaleo (cuenca baja)	Regular	57.65

El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (TULSMA) en su libro VI, Anexo 1, establece las disposiciones para proteger y conservar la calidad de los recursos hídricos superficiales y subterráneos del Ecuador, definiendo criterios de calidad ambiental que el agua debe cumplir, así como los límites máximos permisibles de descarga de efluentes líquidos provenientes de actividades domésticas, industriales, agrícolas y otras fuentes potencialmente contaminantes [21].

La comparación nos permitió conocer las limitaciones que tiene la norma técnica en especificar en forma general la calidad del agua, ya que, al evaluar los parámetros Coliformes fecales cuyos resultados emitidos por el laboratorio fueron: 85Nmp/100ml para la zona alta,

620Nmp/100ml para la zona media y 1200Nmp/100ml para la zona alta, mientras que en el parámetro del Oxígeno disuelto se obtuvo los valores de 7.2 mg/l para la cuenca alta, 7.12mg/l para la cuenca media y 6.83mg/l para la cuenca baja, los límites permisibles de estos dos parámetros son 1000Nmp/100ml y 6 mg/l respectivamente, resultando que el primero parámetros se encuentra fuera de los límites establecidos en la norma, especialmente en la cuenca baja, mientras que el parámetro de oxígeno disuelto se encuentra dentro de los límites permisibles en las tres (3) zonas.

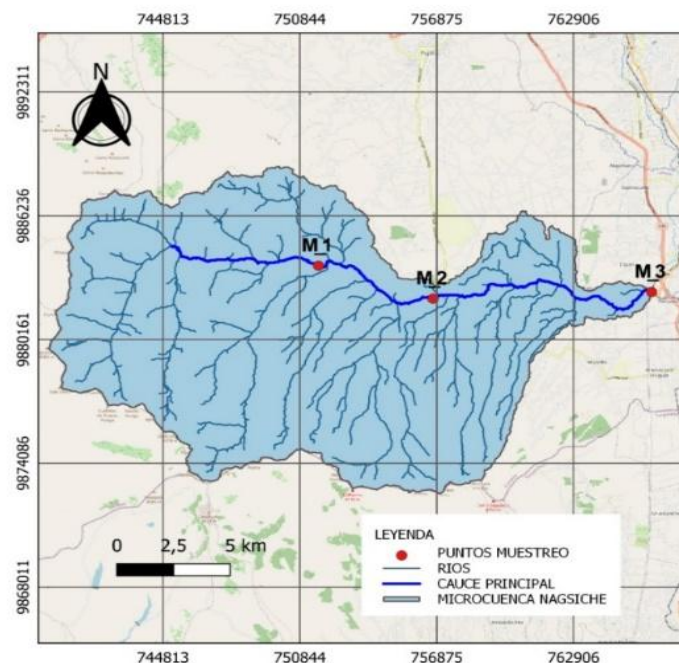
4. Resultados y discusión

4.1 Ubicación de los puntos de análisis

Cada uno de los puntos de estudio presentan diferentes condiciones climáticas, topográficas, sociales, económicas y aprovechamientos del recurso hídrico, es así que la zona alta esta caracterizada por el

cuidado y preservación de los páramos, en la zona media se puede observar asentamientos poblaciones más consolidados dedicados a la agricultura a pequeña escala, mientras que en la zona baja se evidencia una mayor intervención humana, influenciada específicamente por la producción a gran escala, como son la producción de brócoli y flores.

Fig. 2 Esquema metodológico



4.2 Recolección de datos

La disponibilidad de información de muestras de análisis de agua recolectados desde el 2021 permitió conocer la fluctuación del valor que tiene cada parámetro analizado con relación a las condiciones de

muestreo efectuadas en su momento, lo que conlleva que este tipo de análisis de calidad de agua corresponde a una caracterización temporal, cuyos resultados se expresan en la Tabla 7.

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Parámetros analizados	Unidad	Cuenca alta	Cuenca media	Cuenca baja
DBO5	mg/L	14	102.3	175.2
Fosfatos totales	mg/L	0.21	0.24	0.32
Nitratos	mg/L	3.4	0.15	0.3
Oxígeno disuelto	mg/L	7.2	7.12	6.83
pH	Uph	7.8	8.18	8.06
Cambio de temperatura	°C	-3.5	-3.5	-3.5
Sólidos totales disueltos	mg/L	142	62.4	191
Turbidez	NTU	28	36	57.8
Coliformes fecales	NMP/100mL	85	620	1200

Los datos recogidos en la Tabla 7 de cada parámetro fisicoquímico y microbiológico para la cuenca alta son los siguientes: DBO5 14 mg/l, fosfatos totales 0.21 mg/l, nitratos 3.4mg/l, oxígeno disuelto 7.2 mg/l, pH 7.8 Uph, cambio de temperatura -3,75 °C, sólidos disueltos totales 142 mg/l, turbidez 28 NTU, coliformes fecales 85 NMP/100 ml.

Para la cuenca media se obtuvo los siguientes valores: DBO5 102.3 mg/l, fosfatos totales 0.24 mg/l, nitratos 0.15 mg/l, oxígeno disuelto 7.12 mg/l, pH 8.18 Uph, cambio de temperatura -3,75 °C, sólidos disueltos totales 62.4 mg/l, turbidez 36 NTU, coliformes fecales 620 NMP/100 ml, mientras en la cuenca baja se obtuvo: DBO5 175.2 mg/l, fosfatos totales 0.32 mg/l, nitratos

0.3 mg/l, oxígeno disuelto 6.83 mg/l, pH 8.06 Uph, cambio de temperatura -3,75 °C, sólidos disueltos totales 191 mg/l, turbidez 57.8 NTU, coliformes fecales 1200 NMP/100 ml.

4.3 Aplicación y cálculo de la metodología ICA-NSF

A través de la recolección de muestras y luego de obtener los resultados evaluados por el laboratorio, se utilizó la metodología NSF sugerida por Brown, basada en los nueve parámetros físicos, químicos y microbiológicos basados en las curvas de estimación, para establecer la calidad del agua en la microcuenca del río Nagsiche.

De acuerdo con los datos recogidos en la Tabla 7 y utilizando los gráficos de estimación definidos por Brow, se pueden visualizar las ecuaciones matemáticas utilizadas para el

cálculo del ICA, a través de métodos multiplicativos y ponderados con la distribución de los pesos específicos de cada parámetro fisicoquímico y microbiológico (ver Tabla 8)

Tabla 8. Índice de calidad del agua en la microcuenca de Nagsiche

Parámetros	Datos de ICA-NFS			Peso relativo
	ICA parcial 1	ICA parcial 2	ICA parcial 3	
DBO5	23.5	2	2	0,11
Fosfatos totales	84	82	78	0,10
Nitratos	80	95	94.5	0,10
Oxígeno disuelto	83	81.5	77	0,17
pH	87.6	77.3	82.3	0,11
Cambio de temperatura	67	67	67	0,10
Sólidos totales disueltos	79	86.8	73.2	0,07
Turbidez	53.5	48.5	35	0,08
Coliformes fecales	46.7	25.2	21.3	0,16

4.4. Determinación del ICA en la microcuenca

La media de las calificaciones de calidad del agua para cada parte de la microcuenca simboliza una clasificación fluctuante, resultado de las diversas actividades realizadas en cada parte del río (Tabla 7). En el primer punto, los resultados del análisis de la muestra proporcionaron una clasificación para la calidad del agua Regular, con un valor de 66.71, correspondiente al color amarillo. En el segundo y tercer punto de la microcuenca la calidad del agua determinada por el

ICA-NFS es Regular con una calificación de 60.97 y 57.65 respectivamente, lo que indica lógicamente, que conforme se alcanza zonas o sectores con mayor influencia humana sobre el recurso hídrico existe el incremento de los valores en los parámetros proyectándose a valores que pueden superar los límites permisibles de la normativa.

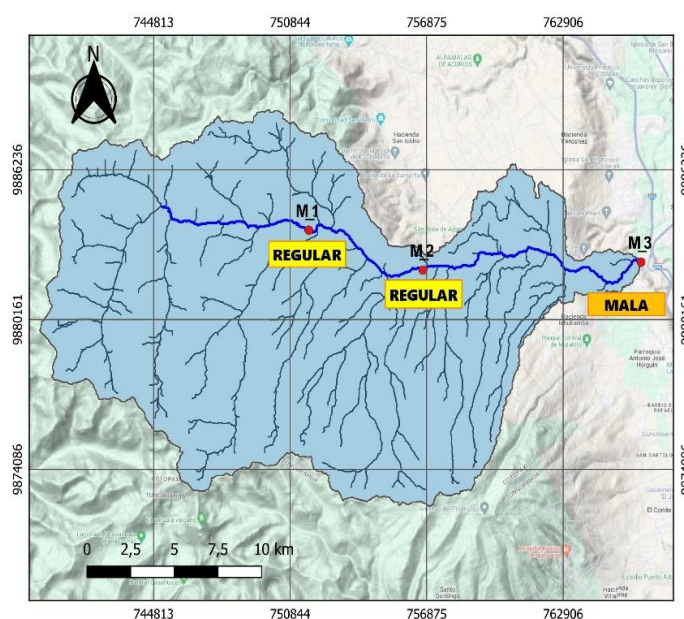
Tabla 9. Resultados del ICA en los 3 puntos de muestreo

Puntos de muestreo	Categoría de resultados	Total	Color
Cuenca Alta	Regular	66.71	
Cuenca Media	Regular	60.97	
Cuenca Baja	Regular	57.65	

En este sentido, la calidad del agua en la microcuenca del río Nagsiche se puede decir que es "Regular" según la clasificación establecida por

la metodología del Índice de calidad de agua de la NSF, determinada así en los tres puntos de muestreo, como son: cuenca alta media y baja.

Fig. 3: ICA - NSF en puntos de muestreo en la microcuenca de Nagsiche



4.5. Propuesta de tratamiento de la calidad del agua

El análisis de la calidad del agua en el río Nagsiche, basado en el Índice de Calidad del Agua (ICA), revela una situación preocupante en varias zonas de su recorrido. De acuerdo con los resultados obtenidos, la cuenca alta presenta un ICA de

66.71, mientras que la cuenca media y la cuenca baja presentan valores de 60.97 y 57.65, respectivamente, todos estos valores categorizados dentro del rango de calidad "Regular" según la clasificación de Brown. Esta evaluación indica una tendencia a la degradación de la calidad del recurso hídrico a medida que el río avanza en su trayecto.

Uno de los parámetros más críticos encontrados en la cuenca baja del río Nagsiche es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), con un valor extremadamente alto de 175.2 mg/L, lo que sugiere una elevada carga de materia orgánica en descomposición, probablemente causada por vertimientos domésticos, industriales y agrícolas no tratados. Asimismo, los niveles de coliformes fecales, con registros de 1200 NMP/100mL, evidencian una contaminación biológica severa que representa un riesgo directo para la salud pública, especialmente en zonas donde el río podría ser utilizado para actividades recreativas, riego o incluso consumo humano sin tratamiento adecuado.

En la cuenca media del río, los niveles de oxígeno disuelto alcanzan un mínimo promedio de 7.12 mg/L, por debajo de los valores óptimos para la supervivencia de la vida acuática. Esta deficiencia, junto con la elevada turbidez y el cambio de temperatura observado, refleja procesos de deterioro asociados a la

actividad antrópica. La presencia de nutrientes como fósforo y nitratos, aunque más moderada, podría favorecer procesos de eutrofización si no se controla su ingreso al ecosistema fluvial.

Para revertir esta situación y mejorar la calidad del agua del río Nagsiche, se propone la implementación de medidas integrales de tratamiento y conservación estableciendo líneas de tratamiento definidas (ver Tabla 10). En primer lugar, es prioritario establecer o mejorar plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en las comunidades asentadas a lo largo de las cuencas media y baja. Estas plantas deben contar con tecnologías de tratamiento primario, secundario e incluso terciario para reducir significativamente la carga orgánica y microbiológica que llega al río. Para zonas rurales o de difícil acceso, se recomienda instalar plantas modulares comunitarias, que integren sedimentación, filtros biológicos y procesos de cloración.

Tabla 10. Propuestas de líneas de tratamiento

ALTERNATIVAS	LINEA DE TRATAMIENTO
Línea A	Pretratamiento + Lagunas Anaerobias + Lagunas Facultativas
Línea B	Pretratamiento + Tanques Imhoff + Humedales Artificiales de Flujo Superficial Horizontal
Línea C	Pretratamiento + Sedimentadores Primarios + Filtro Biológico +

	Lecho de Secado + Filtros Percoladores
Línea D	Pretratamiento + Sedimentadores Primarios + Filtros Percoladores + Sedimentadores Secundarios

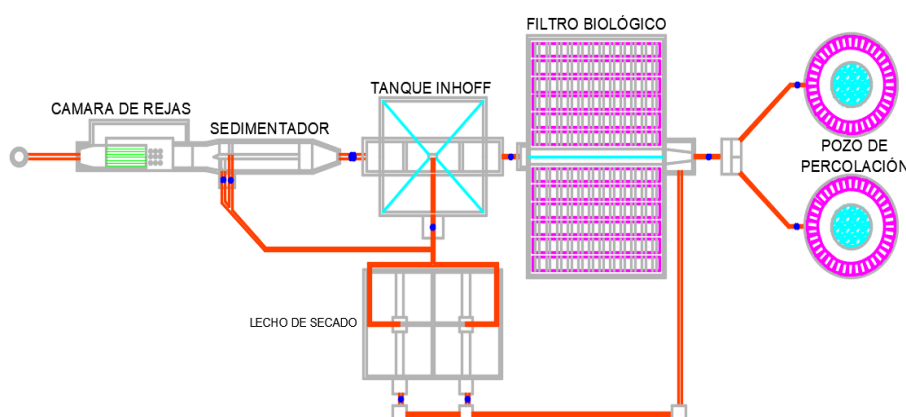
Complementariamente, el uso de humedales artificiales como sistemas de tratamiento natural puede ser una solución ecológica y de bajo costo. Estos humedales son especialmente útiles como tratamientos terciarios para eliminar nutrientes y microorganismos, y pueden integrarse al paisaje local aportando además beneficios ecosistémicos.

Luego de la evaluación a través de una matriz multicriterio donde se analizaron la eficiencia de remoción, generación de lodos, impactos ambientales, aceptación social, terrenos disponibles, operación, mantenimiento y costos de construcción, operación y

mantenimiento, teniendo como resultado las opciones más completas de tratamiento, siendo la más recomendable la "línea C" para la cuenca media y baja de la microcuenca del río Nagsiche.

La figura 2, represente la disposición de las estructuras establecidas en la línea C, donde puede existir la posibilidad de establecer fases de constructivas para el cumplimiento de la misma a largo plazo, es decir en una primera fase se construiría la cámara de rejillas, sedimentador y tanque Inhoff, mientras que en la segunda fase se construiría el lecho de secado el filtro biológico y los pozos de percolación.

Fig. 4: Esquema de la alternativa de Planta de Tratamiento



Otra medida crucial es el control de las fuentes de contaminación difusa, principalmente las provenientes de la agricultura y la ganadería. Es necesario establecer franjas de protección ribereña que limiten el acceso del ganado al cuerpo de agua y reduzcan la escorrentía cargada de fertilizantes y pesticidas. Esto debe ir acompañado de programas de educación ambiental, dirigidos a las comunidades locales, sobre la importancia del cuidado del río Nagsiche y el impacto que tiene la contaminación en la salud y en el ambiente.

Finalmente, se debe fortalecer el monitoreo continuo de la calidad del agua mediante la medición regular de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Esto permitirá tomar decisiones oportunas, activar alertas tempranas ante cambios drásticos y evaluar la efectividad de las medidas implementadas. Además, es fundamental fomentar la reforestación de la cuenca alta, protegiendo las zonas de recarga hídrica que alimentan el río y reduciendo los procesos de erosión y sedimentación.

5. Conclusiones

Se identificó de tres (3) puntos propicios para el desarrollo de muestreos establecidos en las parroquias y comunidades rurales del cantón Salcedo como son: Yanahurco (cuenca alta), Cusubamba (cuenca media) y Panzaleo (cuenca baja), caracterizadas principalmente por su grado de intervención humana en los sectores aledaños a las riberas del río Nagsiche.

El levantamiento de datos obtenidos de la recopilación de información de instituciones públicas que han realizado estudios previos de análisis de calidad de agua para usos de consumo humano y riego dentro de la microcuenca del río Nagsiche permitió conocer los parámetros físicos, químicos y microbiológicos obtenidos desde el año 2021 al 2023, por lo que para el presente estudio se realizó los muestreos en temporada lluviosa y seca considerando los parámetros físico-químicos y microbiológicos establecidos por el índice ICA-NSF, como Coliformes Fecales, pH, DBO, Nitratos, Fosfatos, Temperatura, Turbidez, Sólidos disueltos totales, Oxígeno disuelto.

La evaluación integral de la calidad del agua en la microcuenca del río Nagsiche, a través de la identificación de tres (3) puntos y la obtención de resultados de análisis de calidad en las zonas de Yanahurco (cuenca alta), Cusubamba (cuenca media) y Panzaleo (cuenca baja); permitieron aplicar el Índice de Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation (ICA-NSF) para determinar de manera objetiva el estado ambiental del recurso hídrico en sus diferentes tramos (alta, media y baja cuenca). Los resultados derivados de esta metodología reflejan que la calidad del agua en la microcuenca del río Nagsiche es "Regular", evidenciando variaciones significativas en función del grado de intervención antrópica, mostrando una tendencia al deterioro progresivo de la calidad del agua hacia las zonas bajas de la microcuenca. Esta condición refleja la influencia directa de actividades agrícolas, industriales y domésticas, las cuales aportan cargas orgánicas y nutrientes que afectan el equilibrio ecológico del sistema. En consecuencia, la clasificación directa de la calidad del agua en un río mediante la metodología del ICA-

NSF constituye una herramienta técnica y científica fundamental para orientar la gestión sostenible del recurso, lo que facilitó determinar una propuesta de línea de tratamiento compuesta por: Pretratamiento, Sedimentadores Primarios, Filtro Biológico, Lecho de Sacado y Filtros Percoladores, lo que permitirá mitigar y garantizar la conservación de la calidad del agua en la microcuenca del río Nagsiche.

En tal sentido se recomienda fortalecer las estrategias de gestión integral del recurso hídrico en la microcuenca del río Nagsiche mediante la implementación progresiva de la línea de tratamiento propuesta, priorizando las zonas de mayor impacto antrópico identificadas en la cuenca baja. Asimismo, es fundamental establecer un programa permanente de monitoreo de la calidad del agua basado en el Índice NSF, que permita evaluar la eficacia de las medidas aplicadas y detectar de forma temprana posibles fuentes de contaminación. Paralelamente, se sugiere promover la educación ambiental y la adopción de prácticas sostenibles en los sectores agrícola, industrial y doméstico, con el fin de

reducir las cargas contaminantes y preservar el equilibrio ecológico del sistema hídrico a largo plazo.

Bibliografía

- [1] P. V. Méndez-Zambrano, J. P. Arcos-Logroño y X. R. Cazorla-Vinueza, "Determinación del índice de calidad del agua (FSN) del río Copueno ubicado en el cantón Morona", *Dominio de las Ciencias*, vol. 6, págs. 734–746, 2020, [en línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:225672257>
- [2] L. Duchitanga y M. Jasmina, "Determinación de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores, en la microcuenca del río Guanganza Chico de la provincia de Morona Santiago.", 2019. [En línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:198419121>
- [3] World Health Organization. (2011). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.). World Health Organization.
- [4] Chidiac, S., El Najjar, P., Ouaini, N., El Rayess, Y., & El Azzi, D. (2023). A comprehensive review of water quality indices (WQIs): History, models, attempts and perspectives. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 22, 349-395. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09650-7>
- [5] C. D. P. Peñaranda, V. H. G. Carrasco, H. D. Á. Pucha, B. A. M. Celi, C. A. D. G. Pérez y A. R. F. Acosta, "Aplicación del estudio de caso del Índice de Calidad del Agua (ICA): Río Jubones, Ecuador", *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 2023, [en línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:260504166>
- [6] R. Mendoza-Ramírez, R. Domínguez-Mora, R. Silva-Casarín, K. Suárez-Alcántara, A. Sol-Benítez y E. Carrizosa-Elizondo, "Variación espacial y temporal del Índice de Calidad del Agua en la estratificación térmica del lago Zirahuén, Michoacán, México", *Ingeniería del Agua*, 2025, [en línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:276041518>
- [7] D. Choque-Quispe et al., "Índice de Calidad del Agua en la Microcuenca Altoandina del Río Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, Perú", *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 12, págs. 1–24, 2021, [en línea]. Disponible:

- <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:228858039>
- [8] I. L. Soto, Y. C. Sánchez, B. A. O. Navarrete, G. A. Correa y J. V. Cabrera, "Confiabilidad en técnicas colorimétricas para la determinación de sólidos en suspensión como parámetros de calidad del agua", *Ciencia Nicolaita*, 2024, [en línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:273363780>
- [9] A. K. Alcívar-Cedeño, "Índice de Calidad como Indicador de Efectividad en la Depuración del Agua del Río Carrizal", *Tecnología del agua y Ciencias*, 2023, [en línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:264114260>
- [10] E. Chaves-Chaves, "Aplicación del Índice Simplificado de Calidad del Agua (ISQA) en la evaluación de la calidad del agua en el río Ocloro, San José, Costa Rica", *Revista Tecnología en Marcha*, 2024, [en línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:274957905>
- [11] E. J. P. Sarmiento y J. A. S. Fabián, "Evaluación de la calidad del agua en la quebrada El Salado mediante la aplicación del índice de calidad del agua (NSF) en la parroquia El Valle, cantón Cuenca", 2020. [En línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:230720882>
- [12] J. A. Robledo-Hernández, "Evaluación del Índice de Calidad del Agua ICA-NSF en las microcuencas del Parque Nacional Río Dulce como herramienta en el manejo integrado del manejo sostenible, Livingston, Izabal, Guatemala, Centroamérica", *Revista Tecnología en Marcha*, 2022, [en línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:254725194>
- [13] M. B. F. Chuqui y S. Albarracín, "Evaluación de la calidad del agua, a través de la aplicación del índice de calidad del agua NSF en la microcuenca del Guarango, parroquia Quingeo – Cuenca – Azuay", 2019. [En línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:149803040>
- [14] P. Clavijo, M. Jara, K. Molina y R. Manzaba, "Determinación de la calidad del agua por bioindicadores en el río Machángara, Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador", *Revista Brasileña de Desarrollo*, 2025, [en línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:276201581>

- [15] J. L. H. Lozada y J. V. S. Castillo, "Análisis de la aplicabilidad del Índice de Calidad Ambiental de los Recursos Hídricos Superficiales (ICARHS) en la evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Tambo", *TecnoHumanismo*, 2024, [en línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:267014675>
- [16] J. E. García-González, M. A. Osorio-Ortega, R. A. Saquicela-Rojas y M. L. Cadme, "Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador", 2021. [En línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:235540489>
- [17] F. M. P. Candelario y C. L. G. Pinto, "Evaluación del agua para consumo humano utilizando el índice de riesgo de calidad del agua en el municipio de Puerto Nariño (Amazonas)", *Agrícola y Hábitat*, 2023, [en línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:263213300>
- [18] L. R. L. Vidal y Á. L. C. Mendoza, "Calidad del agua para consumo humano en las comunidades de Balsa en el medio, Julián y Severino de la microcuenca del Carrizal, Ecuador", 2019. [En línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:274021866>
- [19] S. Chacha y E. Maleny, "Determinación de la calidad del agua y elaboración de una propuesta de mitigación para el río Quebrada, ubicado en la Parroquia de San Isidro, Cantón Morona, Provincia de Morona Santiago.", 2019. [En línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:214530762>
- [20] R. del Pilar Freire, M. Pino-Vallejo, P. F. de Andrade y A. L. U. Mejía, "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CHAMBO EN ÉPOCA DE ESTIAJE UTILIZANDO EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA ICA-NSF", *Perfiles*, 2020, [en línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:270023447>
- [21] Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015, 4 de noviembre). *Acuerdo Ministerial No. 97: Anexo 1 del Libro VI del TULSMA — Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua*. Registro Oficial Edición Especial 387. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>