

**Calidad de agua del río Daule en la periferia de la cabecera cantonal,  
noviembre - diciembre 2023**

***Water quality of the Daule River on the periphery of the cantonal  
headboard, november - december 2023***

**Fabricio Hernán Ullauri Castillo<sup>1</sup>, José Luís Escandón Molina<sup>1</sup>, Rosa Lilia Plua  
Merchán<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto Superior Tecnológico Juan Bautista Aguirre, Daule, Guayas, Ecuador.  
[fullauric.istjba@gmail.com](mailto:fullauric.istjba@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0001-8210-8458>  
[jescandonm.istjba@gmail.com](mailto:jescandonm.istjba@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-7377-0442>  
[rpluam.istjba@gmail.com](mailto:rpluam.istjba@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-0320-1755>

Recibido: 20/09/2024  
Aprobado: 04/10/2024

Revisado: 28/09/2024  
Publicado: 06/11/2024

## RESUMEN

El río Daule, una de las arterias fluviales más importantes de Ecuador, enfrenta crecientes presiones ambientales derivadas de actividades humanas. Este estudio se propone evaluar su calidad de agua mediante el Índice de Calidad de Agua (ICA), propuesto por la Fundación Nacional de Sanidad (NSF), de los Estados Unidos de América (USA); una herramienta ampliamente utilizada para interpretar la salud de los ecosistemas acuáticos y proporcionar información comprensible para la gestión ambiental. La metodología empleada incluye la recopilación de datos de nueve parámetros clave: oxígeno disuelto, pH, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes fecales, nitratos, fosfatos, turbidez, temperatura y sólidos disueltos totales. Estos parámetros fueron analizados en laboratorio y ponderados según la metodología de Brown, la cual asigna un peso relativo a cada variable dependiendo de su impacto en la calidad del agua. Este enfoque holístico permite integrar diferentes dimensiones de la calidad del agua en un solo índice, brindando un diagnóstico claro y objetivo (Brown et al, 1970). Este estudio no solo busca diagnosticar el estado actual del río Daule, sino



responder si conviene para los diferentes usos; también generar conciencia sobre la necesidad de un manejo sostenible. El trabajo se erige como una herramienta crucial para guiar la gestión hídrica e invita a reflexionar sobre la responsabilidad compartida de proteger el agua y garantizar su legado para futuras generaciones.

**Palabras clave:** Contaminación; gestión hídrica; ecosistemas acuáticos; antropización; impacto ambiental.

## **ABSTRACT**

The Daule River, one of Ecuador's most important waterways, faces increasing environmental pressures from human activities. This study aims to assess its water quality using the Water Quality Index (WQI) proposed by the National Sanitation Foundation (NSF) of the United States of America (USA), a widely used tool for interpreting the health of aquatic ecosystems and providing understandable information for environmental management. The methodology used includes the collection of data on nine key parameters: dissolved oxygen, pH, biochemical oxygen demand, fecal coliforms, nitrates, phosphates, turbidity, temperature, and total dissolved solids. These parameters were analyzed in the laboratory and weighted according to Brown's methodology, which assigns a relative weight to each variable depending on its impact on water quality. This holistic approach allows different dimensions of water quality to be integrated into a single index, providing a clear and objective diagnosis (Brown et al., 1970). This study not only seeks to diagnose the current state of the Daule River, but also to determine whether it is suitable for different uses and to raise awareness of the need for sustainable management. The work stands as a crucial tool for guiding water management and invites reflection on the shared responsibility of protecting water and ensuring its legacy for future generations.

**Keywords:** Pollution; water management; aquatic ecosystem; anthropization; environmental impact.

## **INTRODUCCIÓN**

A nivel global, la degradación de los cuerpos hídricos ha alcanzado niveles alarmantes. Según el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos



Hídricos 2023, más de 2,200 millones de personas carecen de acceso a agua potable, mientras que el 80% de las aguas residuales se vierten sin tratamiento a ríos y océanos, agravando la crisis (UNESCO, 2023).

La calidad del agua se enfrenta a una crisis sin precedentes, impulsada por el crecimiento demográfico, la industrialización y las prácticas agrícolas intensivas. Los cuerpos hídricos, como ríos, lagos y estuarios, están sometidos a una presión creciente debido a la descarga de contaminantes, la pérdida de cobertura vegetal y el cambio climático (Mir, 2024).

En Ecuador, la degradación de la calidad del agua en diversos ríos y cuencas hidrográficas, afectando la salud humana, los ecosistemas acuáticos y la economía local (Secretaría del Agua, 2016). Estudios recientes en cuencas tropicales (ejemplo: Amazonía ecuatoriana y cuenca del Mekong) evidencian que enfoques multidisciplinarios, basados en indicadores agregados, son clave para diseñar estrategias adaptativas ante escenarios climáticos cambiantes y presiones socioeconómicas.

El río Daule, uno de los principales afluentes de la región litoral, no escapa a esta problemática. La periferia del Cantón Daule, en particular, presenta un escenario crítico debido a la confluencia de factores antropogénicos y naturales. La descarga de aguas residuales sin tratamiento, el uso indiscriminado de agroquímicos y la erosión de los suelos han provocado una disminución significativa en la calidad del agua del río, afectando la biodiversidad y poniendo en riesgo los servicios ecosistémicos que este proporciona (Zambrano, 2020).

La variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua en el río Daule se ve influenciada por diversos factores, como la densidad poblacional, las actividades económicas y los eventos climáticos extremos, como el fenómeno de El Niño (Chiluiza Vargas & Montero Solórzano, 2023). Las alteraciones en los patrones de precipitación y la intensificación de las actividades agrícolas han exacerbado la contaminación del río, generando un impacto negativo en la salud de las comunidades ribereñas y en la economía local.

El río Daule no solo es un eje vital para el abastecimiento hídrico de la región, sino también un termómetro ambiental que refleja el equilibrio entre desarrollo

socioeconómico y sostenibilidad. Este trabajo aporta, mediante el Índice de Calidad de Agua (ICA), una evaluación cuantitativa que integra parámetros clave para uso humano y conservación de biodiversidad, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6 y 15) y la Estrategia Nacional de Calidad del Agua de Ecuador (ENCA, 2016-2030).

## **MÉTODOS**

El presente estudio se fundamentó en el método del Índice de Calidad de Agua (ICA) de la NSF, adaptado mediante la ponderación multiplicativa de Brown, para evaluar nueve parámetros fisicoquímicos y microbiológicos clave. Se diseñó un muestreo estratificado en tres puntos estratégicos del río Daule, considerando fuentes de contaminación antropogénica y variabilidad espacial. Los datos se recolectaron en noviembre y diciembre de 2023, siguiendo protocolos estandarizados (Norma INEN 2169) y analizados en laboratorio acreditado. Esta metodología integra rigurosidad técnica y replicabilidad, alineada con estándares internacionales para diagnóstico ambiental.

El área de estudio está comprendida en un brazo de río en la periferia de la cabecera cantonal Daule. Este cuerpo de agua limita al norte con la planta de tratamiento de Daule, desciende por el balneario “La Playita”, rodea la plaza gastronómica: Riberas Opuestas “, atraviesa el puente nuevo de Daule, recorre el malecón y termina hacia el sur en el Centro Recreacional “Riberas de Daule”, frente al recinto Arenal. Comprende:

- Perímetro de 6,275 m
- Recorrido: 2,950 m (lineales)
- Superficie: 510,928 m<sup>2</sup>
- Volumen: 37,650 m<sup>3</sup> (temporada de lluvia)
- Caudal: 380 m<sup>3</sup>/s

Para determinar los puntos de muestreo de calidad de agua, el investigador pone a juicio la proximidad a fuentes de contaminación como descargas de aguas residuales, botadero de basura, variabilidad en el uso de suelo, balnearios donde los habitantes tienen contacto directo con el agua, regeneración urbana etc.

El impacto humano en el Río Daule es significativo. Los desechos de las actividades agrícolas y pesca en los alrededores, la urbanización, el nuevo puente da paso a masa

de comunidad a gozar del balneario. Estos factores contribuyen a la presión sobre el ecosistema fluvial.

Para garantizar representatividad espacial y ecológica, se consideraron los siguientes criterios:

- Proximidad a fuentes contaminantes.
- Uso de suelo circundante.
- Interacción humana directa.
- Variabilidad hidrológica.

El río Daule se dividió en tres tramos equidistantes, abarcando:

- Tramo superior (Punto 1): Aguas arriba, cercano a la planta de tratamiento, para evaluar impacto de descargas controladas.
- Tramo medio (Punto 2): Zona urbana con actividades recreativas y comerciales, donde confluyen aguas lluvias y residuos sólidos.
- Tramo inferior (Punto 3): Área periurbana con influencia agrícola, para analizar arrastre de sedimentos y agroquímicos.

La tabla 1, especifica los puntos de muestreo por las coordenadas geospaciales en concordancia con las fuentes de contaminación observadas y su argumento.

**Tabla 1. Caracterización de puntos**

Punto	Coordenadas	Fuentes de Contaminación	Justificación
P1	1°51'18.40"S, 79°59'8.01"W	Descargas de EMAPA EP, escorrentía urbana	Monitorear eficacia del tratamiento previo
P2	1°51'39.94"S, 79°59'8.01"W	Residuos de balnearios, aguas lluvias	Evaluar carga orgánica y patógenos
P3	1°52'15.08"S, 79°59'38.61"W	Lixiviados agrícolas, erosión de suelos	Cuantificar impacto de actividades rurales

Se realizaron dos campañas (noviembre y diciembre de 2023), en transición entre estación seca y lluviosa, para capturar variaciones en la carga contaminante. Cada campaña incluyó tres réplicas por punto (a lo ancho de la cuenca), con un total de 18 muestras.

La evaluación de la calidad del agua del río Daule se centró en nueve parámetros clave proporcionado por la Fundación de Sanidad Nacional. (NSF) de los Estados Unidos de América (USA), cada uno de los cuales revela aspectos críticos sobre la salud del ecosistema y los impactos de las actividades humanas (Tabla 2).

**Tabla 2. Parámetros ICA, (NSF)**

	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>
1	Coliformes fecales	NMP/100 ml
2	Potencial de Hidrogeno	PH
3	DBO(3)	mgO <sub>2</sub> /l
4	Nitratos	mg/l
5	Fosfatos	mg/l
6	Cambio de Temperatura	C
7	Turbidez	NTU = FAU
8	Solidos disueltos totales	ml/l
9	Oxígeno disuelto	% Saturación

La recolección y análisis de muestras de agua requieren equipos y materiales especializados que garanticen la precisión y confiabilidad de los datos. En este estudio, se emplearon instrumentos de medición, dispositivos de muestreo y equipos de protección personal (EPP), siguiendo los protocolos establecidos por la Norma INEN 2169:2013.

Estos recursos permitieron medir parámetros críticos directamente en el campo, preservar la integridad de las muestras durante su transporte y asegurar condiciones seguras para el equipo técnico. Los materiales utilizados y el equipo de protección personal están respaldados por los estándares del laboratorio acreditado (SAE-ACR-0170-2018) donde se realizaron los análisis.

## **RESULTADOS**

El impacto humano en el Río Daule es significativo. Los desechos de las actividades agrícolas y pesca en los alrededores, la urbanización, el nuevo puente da paso a masa de comunidad a gozar del balneario. Estos factores contribuyen a la presión sobre el ecosistema fluvial.

Para garantizar representatividad espacial y ecológica, se consideraron los siguientes criterios: proximidad a fuentes contaminantes, uso de suelo circundante, interacción humana directa y variabilidad hidrológica.

### **Procedimiento de muestreo**

Para el procedimiento de muestreo de agua, se tomó en cuenta las directrices de muestreo, manejo y conservación de muestras que dicta la Norma Técnica Ecuatoriana (INEN 2169, 2013). Por consiguiente, en la preparación inicial se tomaron precauciones

generales en cuanto almacenamiento y transporte de muestras de agua para tener en cuenta reacciones físicas, químicas y biológicas que puedan alterar la muestra. La técnica empleada es el muestreo puntual porque es una muestra individual que representará la calidad del agua solamente en el lugar y tiempo que fue tomada.

Como parte de la preparación inicial se realiza:

- Verificación de los equipos e instrumentos
- Colocarse los elementos del equipamiento personal:
- Identificación de los puntos de muestreo:

Como se mencionó anteriormente se identificaron 3 puntos de muestreo. La tabla 3, especifica los puntos de muestreo por las coordenadas geoespaciales: Latitud y Longitud. También muestra una vista satelital utilizando la herramienta Google Map y la foto del lugar.

**Tabla 3. Puntos de muestreo.**

<b>Punto / Coordenadas</b> <b>Descripción - Ubicación</b>
Punto 1: 1°51'18.40"S- 79°59'8.01"W Planta de tratamiento de agua. EMAPA EP Daule
Punto 2: 1°51'39.94"S-79°59'8.01"W Plaza gastronómica "Riberas Opuestas" Balneario "La Playita" Nuevo Puente Golden Gate Bridge Daule Cooperativa JEP
Punto 3: 1°52'15.08"S-79°59'38.61"W Centro Recreacional "Riberas del Daule" Recinto Arenal

**edición in situ:**

- Potencial de Hidrógeno (pH): Utilizar el potenciómetro para medir directamente en el agua.
- Oxígeno disuelto: Emplear el oxigenómetro para registrar la concentración in situ.
- Temperatura del agua: Usar el termómetro para medir la temperatura en el punto de muestreo.
- Temperatura y humedad ambiental: Registrar estos parámetros con el termohigrómetro.

### **Toma de muestra:**

- Enjuagar la botella de "Van Dorn" con agua grado reactivo antes de su uso.
- Sumergir la botella a la profundidad requerida según la norma (usualmente 30 cm bajo la superficie). Extraer la muestra de agua evitando la entrada de burbujas de aire.

### **Transferencia de la muestra:**

- Verter la muestra en los vasos de precipitación si es necesario para realizar mediciones preliminares.
- Enjuagar los recipientes de almacenamiento tres veces con la muestra antes de llenarlos completamente.

**Sellado y etiquetado:** Colocar las muestras en contenedores limpios, sellarlos y etiquetarlos con la siguiente información: fecha, hora, lugar, profundidad de muestreo y parámetros analizados.

### **Post-muestreo**

- Almacenamiento temporal: Guardar las muestras en condiciones adecuadas de transporte, evitando la exposición a altas temperaturas.
- Limpieza de equipos: Limpiar la botella de "Van Dorn" y los vasos de precipitación con agua grado reactivo y secarlos con servilletas de papel.
- Registro: Completar las hojas de campo con los datos de las mediciones y observaciones realizadas.
- Transporte al laboratorio: Llevar las muestras al laboratorio en un tiempo máximo de 24 horas, asegurando la cadena de custodia.

### **Consideraciones de seguridad**

- Usar en todo momento el chaleco salvavidas durante las actividades en la canoa.
- Evitar manipular los instrumentos con manos mojadas para prevenir accidentes eléctricos.
- Asegurarse de que todo el equipo de protección personal esté en buen estado.

### **Análisis de laboratorio:**

El análisis de los parámetros del agua se los realizo en LABORATORIO GRUPO QUÍMICO MARCOS C. LTDA. GRUQUIMAR, con resolución de acreditación SAE-ACR-0170-2018



### Cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA):

Existen diferentes índices de calidad del agua que utilizan varios parámetros físico-químicos y microbiológicos para clasificar el agua. El índice de calidad del agua más utilizado es el propuesto por la Fundación Nacional de Saneamiento de Estados Unidos (NSF-WQI). Este utiliza pH, O<sub>2</sub>, temperatura, nutrientes, coliformes, sólidos, turbiedad y DBO, para clasificar la calidad del agua entre valores de 0 a 100, siendo 0 la peor calidad y 100 la mejor (tabla 4).

**Tabla 4. Clasificación ICA, propuesto por BROWN.**

Calidad De Agua	Color	Valor
Excelente		91 -100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Para determinar el valor del “ICA” en un punto deseado es necesario que se tengan las mediciones de los 9 parámetros implicados. La evaluación numérica del “ICA”, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos se debe a Brown. Para calcular el Índice se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices (ICA<sub>a</sub>) o una función ponderada multiplicativa (ICA<sub>m</sub>). Estas agregaciones se expresan matemáticamente como sigue:

$$(1) \quad ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * W_i) \quad (2) \quad ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{W_i})$$

Donde:

- $W_i$ : Pesos relativos asignados a cada parámetro ( $Sub_i$ ), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.
- $Sub_i$ : Subíndice del parámetro i.

Otros autores Landwehr y Denninger, 1976, demostraron que el cálculo de los “ICA” mediante técnicas multiplicativas es superior a las aritméticas, es decir que son mucho más sensibles a la variación de los parámetros, reflejando con mayor precisión un cambio de calidad (Servicio Nacional de Estudios Territoriales [SNET], 2004). Es por ello que en este estudio se aplicara la ecuación (2) multiplicativa.

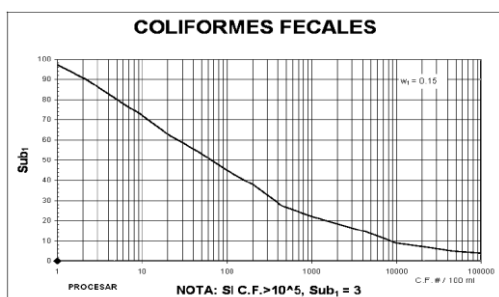
Para determinar el valor del “ICA” es necesario sustituir los datos en la ecuación 2 obteniendo los **Sub<sub>i</sub>** de las distintas graficas de valoración de la calidad de agua en función de cada parámetro (fig. 7-15); dicho valor se eleva por su respectivo peso  $W_i$  de la Tabla.

Los pesos de los diversos parámetros se muestran en la tabla 5:

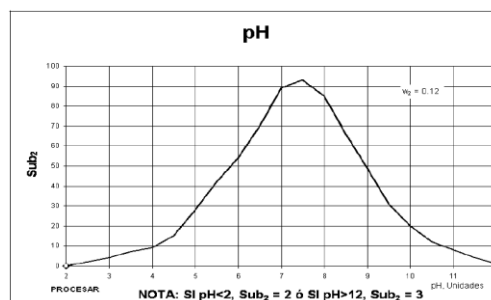
**Tabla 5: Pesos definidos para cada Parámetro (Brown).**

i	Sub <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>
1	Coliformes fecales	0.15
2	Potencial de Hidrogeno (PH)	0.12
3	DBO(5)	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Cambio de Temperatura	0.10
7	Turbidez	0.08
8	Solidos disueltos totales	0.08
9	Oxígeno disuelto	0.17

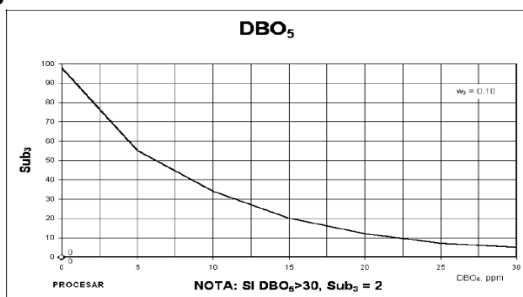
Las gráficas (figura 1 a la 9) de valoración del ICA proporcionadas por el método NSF son las siguientes: Coliformes Fecales, Potencial de Hidrogeno (pH), Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO5), Nitratos, Fosfatos, Cambio de Temperatura, Turbidez, Solidos disueltos Totales, Oxígeno disuelto (%).



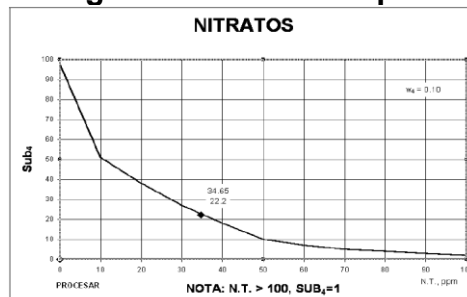
**Figura 1. Valoración de la calidad de agua en función de Coliformes Fecales**



**Figura 2. Valoración de la calidad de agua en función del pH**



**Figura 3. Valoración de la calidad de agua en función de la DBO5**



**Figura 4. Valoración de la calidad de agua en función del Nitrógeno**

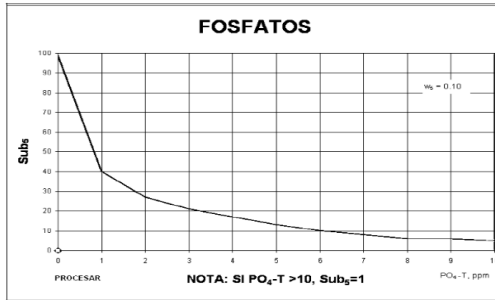


Figura 5. Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo

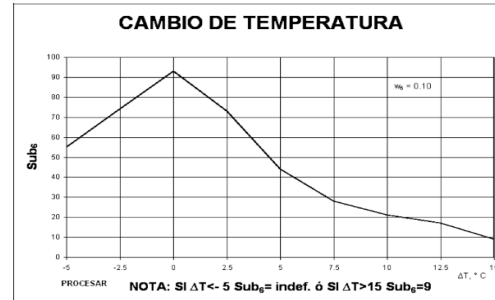


Figura 6. Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura

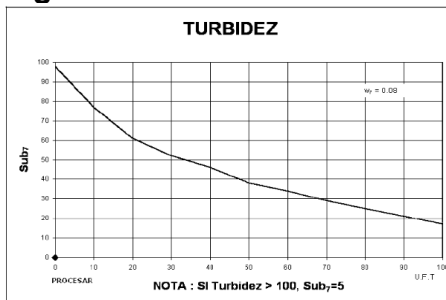


Figura 7. Valoración de la calidad de agua en función de la Turbidez

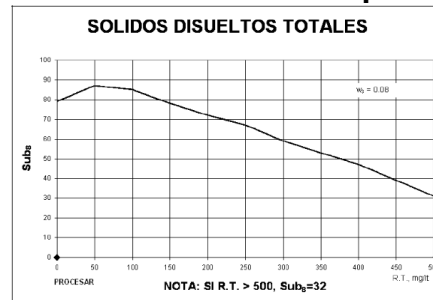


Figura 8. Valoración de la calidad de agua en función del Residuo Total

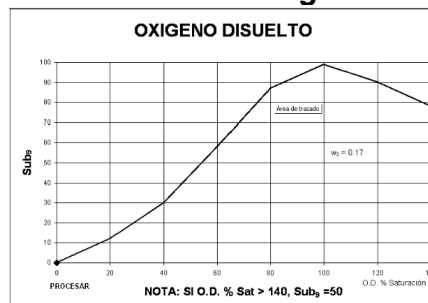


Figura 9. Valoración de la calidad de agua en función del % de Saturación del Oxígeno Disuelto

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de cada parámetro en los meses de noviembre y diciembre, así como el promedio y los límites de control:

Tabla 6. Resultados obtenidos por cada parámetro.

PARAMETRO	UNIDAD	MESES		TOTAL	MAX
		Nov	Dic	Promedio	PERMISIBLE
Potencial de Hidrogeno	pH	▲ 7.3	▼ 6.9	7.1	6 - 9
Cambio de Temperatura	T (°C)	▼ 1.5	▲ 2.2	1.9	--
Oxígeno disuelto	OD (%)	▲ 75	▼ 75	75	>60
Nitratos	N (mg/l)	▲ 2.2	▼ 1.1	1.7	13
Fosfatos	P (mg/l)	▼ 0.2	▲ 0.5	0.4	0.6
Turbidez	Td (UNT)	▼ 3.6	▲ 8.4	6.0	100
DBO(5)	DBO (mgO2/l)	▲ 2.3	▼ 1.6	2.0	20
Solidos disueltos totales	STD (mg/l)	▼ 65	▲ 84	75	3000
Coliformes fecales	(NMP/100ml)	▼ 65	▲ 133	99	200

La tabla 7, presenta los resultados del Índice de Calidad de Agua (ICAm), con la función ponderada multiplicativa en cada punto de muestreo y fecha en que se realizó:

**Tabla 7. Valores de ICA Multiplicativo Mensualizado y Total**

FECHA	P1	P2	P3	PROMEDIO
26/11/2023	81	76	79	78
17/12/2023	75	75	73	74
TOTAL				76

Los valores de ICA están alrededor de **73 – 81** en los puntos muestreados, en las fechas establecidas, y el promedio ronda en **74 - 78**, con una media aritmética total de **76**.

## DISCUSIÓN

Basado en la revisión del Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua (Ministerio del Ambiente, 2017), donde se indica los criterios de calidad de agua según sus usos; la mayoría de los parámetros evaluados cumplen con los valores permisibles para diversos usos.

El pH, el cambio de temperatura, los nitratos, la turbidez, los sólidos disueltos totales y los coliformes fecales están dentro de los rangos aceptables para riego, consumo humano, uso recreativo y preservación de la vida acuática. Esto indica una buena calidad del agua para estos fines.

### Sin embargo, se identificaron dos parámetros críticos:

- El oxígeno disuelto (74.8%) está por debajo del valor requerido para actividades recreativas y vida acuática (>80%), lo que podría afectar la salud de los ecosistemas.
- Los fosfatos (0.4 mg/L) superan ampliamente el límite para la vida acuática (0.06 mg/L), incrementando el riesgo de eutrofización.
- Además, la DBO<sub>5</sub> (2.0 mg O<sub>2</sub>/L) cumple para la vida acuática, pero apenas excede el límite ideal para consumo humano (<2 mg O<sub>2</sub>/L).

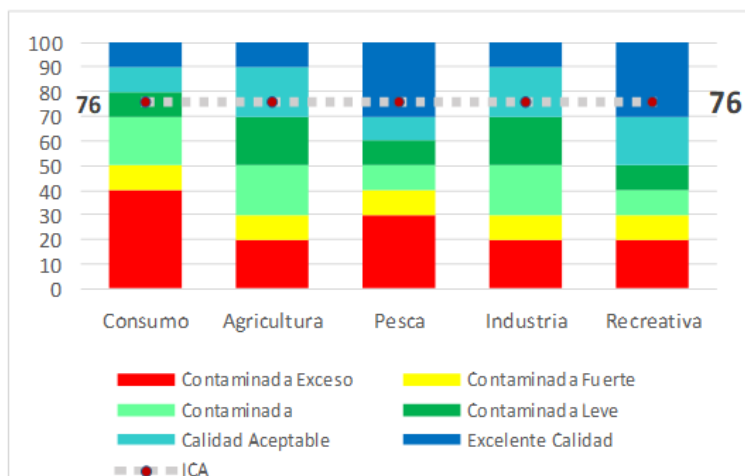
Entonces, en un análisis individual, el agua del Rio Daule, en la cabecera cantonal es apta para riego, consumo humano, uso pecuario y recreativo. Sin embargo, la calidad

para la vida acuática y actividades recreativas podría mejorar mediante la reducción de nutrientes y

l aumento de oxígeno disuelto. Es necesario priorizar el control de fosfatos para evitar problemas ecológicos.

Según la tabla propuesta por Brown, la calidad de agua del Rio Daule en la periferia de la cabecera cantonal es catalogada **“BUENA”**. Esto quiere decir una leve contaminación hay diversidad de organismos acuáticos, conveniente el contacto directo, poca densidad de algas (Brown et al, 1970).

En cuanto al valor numérico del ICA, este sirve principalmente como una herramienta de comparación, siempre que se mantenga la consistencia en su cálculo. Para establecer criterios generales, se presentan a continuación algunos lineamientos proporcionados por el panel de expertos, (DINIUS, 1987). Basándose en el valor numérico del ICA, se han definido seis rangos que describen el estado de calidad del agua: Excelente, Aceptable, Levemente Contaminada, Contaminada, Fuertemente Contaminada y Excesivamente Contaminada. A partir de esta clasificación, se establecen los criterios que se detallan en la figura 11:



**Figura 1. Escala de ICA en Función del Uso de Agua**

El valor del ICA obtenido, de **76**, indica que el agua presenta una calidad excelente para usos recreativos y actividades relacionadas con la pesca, favoreciendo la biodiversidad y permitiendo cualquier tipo de interacción acuática. Sin embargo, para consumo humano, el agua es clasificada como contaminada leve, lo que hace necesario un tratamiento previo para garantizar su potabilidad.

En el ámbito agrícola e industrial, el agua alcanza una calidad aceptable, siendo adecuada para riego y procesos industriales que no requieran estándares extremadamente altos. En ambos casos, podría ser necesaria una purificación menor para usos específicos.

En general, los resultados reflejan un buen estado del recurso hídrico, con amplia versatilidad para diferentes usos, aunque se recomienda priorizar medidas de control y tratamiento para garantizar su sostenibilidad y seguridad en aplicaciones más exigentes, como el consumo humano.

## CONCLUSIONES

El Índice de Calidad de Agua (ICA) obtenido durante el estudio, con un valor promedio de 76, clasifica al agua del río Daule como de calidad "buena". Esto indica que el recurso es apto para actividades recreativas, riego y preservación de organismos acuáticos con diversidad moderada, pero con limitaciones para consumo humano directo sin tratamiento previo.

A pesar de que la mayoría de los parámetros analizados cumplen con los límites permisibles según la normativa ambiental, se identificaron dos parámetros críticos:

- Fosfatos: Con concentraciones que superan el límite recomendado para la vida acuática, aumentando el riesgo de eutrofización.
- Oxígeno disuelto: Con valores por debajo del nivel ideal para actividades recreativas y vida acuática, lo que podría afectar negativamente a los ecosistemas.

La contaminación observada en el río se relaciona principalmente con actividades antropogénicas, como la descarga de aguas residuales, el uso excesivo de fertilizantes y la erosión de suelos. Estas prácticas contribuyen a la presencia de nutrientes como fosfatos y al deterioro de las condiciones generales del ecosistema acuático.

La variabilidad espacial y temporal de la calidad del agua, influenciada por factores climáticos y actividades humanas, destaca la necesidad de un monitoreo sistemático para evaluar cambios en el estado del recurso hídrico y garantizar su sostenibilidad.

## REFERENCIAS

- Brown, R. M., McClelland, N., Deininger, R. A. & Tozer, R. G. (1970). "A Water Quality Index - Do We dare?", *Water Sewage Works* 11. <https://n9.cl/0tjmc>
- Chiluza Vargas, M. A., & Montero Solórzano, M. d. (2023). Estudio de la calidad de agua del río Daule frente al sector de la parroquia rural Los Lojas durante 2023. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana] Universidad Politécnica Salesiana <https://n9.cl/i6gq2>
- DINIUS, S. (1987). Design of a Water Quality Index. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 23: 833-843. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1987.tb02959.x>
- INEN 2169. (2013). NTE INEN 2169:2013: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013 (1ª Edición) Ecuador Quito. <https://n9.cl/ynzir0>
- Ministerio del Ambiente. (2017). Tulsma, anexo i, libro vi: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Ecuador. <https://n9.cl/8lpqs>
- Mir, P. (2024). El 94% del agua potable de la UE está contaminada con "químicos eternos". *National Geographic*. <https://n9.cl/l4kurt>
- Secretaria del Agua. (2016). Estrategia nacional de calidad del agua (ENCA) 2016-2030. Ecuador. <https://n9.cl/1klc>
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). (2004). Índice de Calidad del Agua General "ICA". <https://n9.cl/nbfqf>.
- Zambrano, R. (16 de febrero de 2020). Agroquímicos afectan a la fuente de agua de Guayaquil, el río Daule. <https://n9.cl/of5uy>