

DOI: <https://doi.org/10.65558/gfjo9752rt54g>

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD HÍDRICA DE LA QUEBRADA EL COMÚN (CARAPARÍ, BOLIVIA), MEDIANTE EL ÍNDICE BIOLÓGICO BMWP Y EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

ASSESSMENT OF WATER QUALITY IN EL COMÚN STREAM (CARAPARÍ, BOLIVIA)
USING THE BMWP BIOLOGICAL INDEX AND THE WATER QUALITY INDEX (WQI)

Fecha de recepción: 03/10/2025 | Fecha de aceptación: 05/12/2025

Cabrera Avalos Ricardo¹, Montero Mendieta Mayerli²,
Tarifa Ruiz Leonel G.³, Guerrero Cáceres Moisés⁴, Hoyos López Marcela⁵,
Mamani Alemán Julio César⁶, Palacios Méndez Gina Analía⁷

Carrera de Ingeniería de Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería de Recursos Naturales y Tecnología.
Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Correspondencia de la autora: ing.marcehoyos@gmail.com⁵
Tarija - Bolivia

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD HÍDRICA DE LA QUEBRADA EL COMÚN (CARAPARÍ, BOLIVIA), MEDIANTE EL ÍNDICE BIOLÓGICO BMWP Y EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

¹**Cabrera Avalos Ricardo, Univ.**

²**Montero Mendieta Mayerli Univ.**

³**Tarifa Ruiz Leonel G. Univ.**

⁴**Guerrero Cáceres Moisés Univ.**

Investigadores juniors, de la carrera de Ingeniería de Recursos Hídricos, Facultad de Ingeniería de Recursos Naturales y Tecnología.

Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS)

Correo de los autores: ricardoca575@gmail.com¹, societrecursoshidricos@uajms.edu.bo², lgtrxdxd@gmail.com³, moiquito173@gmail.com⁴

Tarija, Bolivia

⁵**Hoyos López Marcela**

Ingeniera Civil, Ph.D.

Docente de la Facultad de Ingeniería de Recursos Naturales

Correo de la autora: ingmhoyos@gmail.com⁵

Tarija, Bolivia

⁶**Mamani Alemán César**

Ingeniero de Recursos Hídricos, Especialista en Gestión de los Recursos Hídricos

Correo del autor: julio.mamani@edu.uah.es⁶

Tarija, Bolivia

⁷**Palacios Méndez Gina Analía**

Ingeniero de Recursos Hídricos, Especialista en Gestión de los Recursos Hídricos

Tarija, Bolivia

RESUMEN

La calidad de los recursos hídricos superficiales es un factor de mucha importancia para la salud ambiental y el bienestar de las comunidades. En este estudio se evaluó la calidad del agua de la quebrada "El Común", ubicada en el municipio de Caraparí (Bolivia), con el objetivo de caracterizar sus condiciones fisicoquímicas y biológicas. Se aplicaron dos metodologías complementarias: el Índice de Calidad del Agua (ICA), basado en parámetros fisicoquímicos, y el Índice Biológico BMWP, fundamentado en la presencia y abundancia de macroinvertebrados acuáticos. El muestreo se realizó en diferentes puntos georreferenciados durante las épocas seca y lluviosa.

Los resultados del ICA clasificaron el agua en categorías que oscilan entre calidad aceptable y deficiente, mientras que el BMWP evidenció una sensibilidad biológica que confirma la presión antrópica sobre el ecosistema. En conjunto, ambos índices muestran que la quebrada presenta un estado de vulnerabilidad, con riesgos para su uso en consumo humano directo y actividades productivas. Se recomienda implementar medidas de control y monitoreo continuo para mitigar la contaminación y preservar la función ecológica del cauce.

ABSTRACT

The quality of surface water resources is a key factor for environmental health of the community well-being. This study assessed the water quality of El Común Stream, located in the municipality of Caraparí (Bolivia), with the aim of characterizing its physicochemical and biological conditions. Two complementary methodologies were applied: the Water Quality Index (WQI), based on physicochemical parameters, and the BMWP Biological Index, which relies on the presence and abundance of aquatic macroinvertebrates. Sampling was carried out at different georeferenced points during both dry and rainy seasons.

The WQI results classified the water between acceptable and poor quality, while the BMWP index revealed biological sensitivity that reflects anthropogenic pressures on the ecosystem. Together, both indices indicate that the stream is in a vulnerable state, with risks for direct human consumption and productive activities. Continuous monitoring and mitigation measures are recommended to reduce pollution and preserve the ecological function of the stream.

Palabras Clave: Recursos hídricos, calidad del agua, BMWP, ICA, Caraparí.

Keywords: water resources, water quality, BMWP, WQI, Caraparí.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la salud de los ecosistemas y el bienestar humano. La evaluación de su calidad exige integrar indicadores fisicoquímicos y biológicos que permitan una interpretación firme y comparativa del estado de los cuerpos de agua superficiales. En este sentido, los índices de calidad del agua han demostrado ser herramientas eficaces, pues sintetizan información compleja y facilitan tanto la comunicación científica como la toma de decisiones en gestión (Kumar, D., Bindra, S., & Kumar, P., 2024, págs. 1-5)

Entre ellos, el Índice de Calidad del Agua (ICA o WQI) ha experimentado avances metodológicos en los últimos años, especialmente en la selección de indicadores, los pesos asignados a cada variable y el uso de técnicas estadísticas y de aprendizaje automático para optimizar su interpretación (Nature Portfolio., 2025, págs. 1-7).

De forma complementaria, los macroinvertebrados bentónicos se han consolidado como bioindicadores sensibles a presiones antrópicas crónicas, debido a su capacidad de reflejar la calidad ambiental de manera integrada y sostenida en el tiempo (Orozco-González, C. E., Martínez-Colón, M., & Díaz, E. A., 2023, págs. 1-20).

En particular, el Biological Monitoring Working Party (BMWP) ha sido ampliamente utilizado y calibrado en distintos contextos, mostrando alta eficacia para la valoración ecológica de ríos y arroyos (Hora Revilla, M. E., et al., 2025, págs. 1-23).

En Bolivia, la Ley 1333 de Medio Ambiente (1992) y su Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (DS N.º 24176, 1995) constituyen el marco normativo vigente que establece las clases de calidad de las aguas superficiales (A, B, C y D) y los límites permisibles para distintos usos, entre ellos consumo humano, riego y recreación. Estos lineamientos

son la base legal para contrastar los resultados de los índices con los estándares nacionales (Ley 1333, 1992).

La quebrada "El Común", ubicada en el municipio de Caraparí (departamento de Tarija), es un curso de agua de importancia local por su aporte a usos domésticos y su función ecosistémica. Sin embargo, el crecimiento urbano, las descargas de aguas sin tratamiento y las presiones productivas generan riesgos de deterioro. Por ello, el presente estudio se propone determinar la calidad hídrica de la quebrada "El Común" mediante el ICA y el BMWP, comparando los resultados con la normativa boliviana y discutiendo sus implicaciones de gestión.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en la quebrada "El Común", ubicada en el municipio de Caraparí, departamento de Tarija (Bolivia). Esta cuenca, de aproximadamente 17,30 km², presenta una forma alargada y una intensa interacción con actividades humanas. El cauce forma parte de la cuenca del río Pilcomayo y representa un recurso hídrico de importancia local tanto para el abastecimiento como para el desarrollo de actividades productivas.

Para el estudio se delimitaron cuatro puntos de muestreo, georreferenciados con un GPS Garmin eTrex 32x:

P1: 21°35'42" S, 63°43'15" O

P2: 21°36'05" S, 63°43'55" O

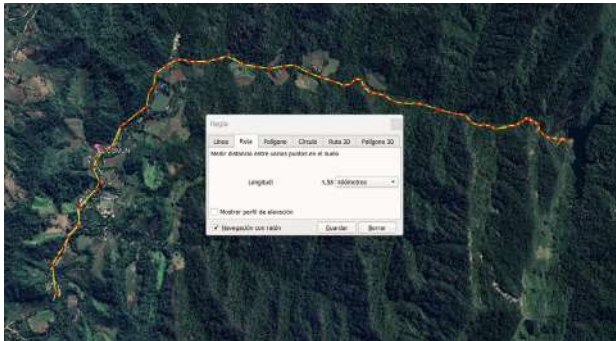
P3: 21°36'47" S, 63°44'33" O

P4: 21°37'12" S, 63°45'02" O

La cuenca presenta dos zonas con alta actividad humana: una corresponde a parte del núcleo urbano de Caraparí y la otra a la comunidad "El Común", donde predominan actividades agrícolas y se observa una tendencia marcada a la degradación del suelo.

La distancia promedio entre los puntos de muestreo es de 4,58 km. En la cuenca alta no se desarrollan actividades agrícolas, aunque se evidencia la presencia de animales. En la cuenca baja, sin embargo, la intervención humana es notoria, con actividades agrícolas, ganaderas y viviendas pertenecientes a la comunidad "El Común".

Figura 1. Distancia promedio de los puntos de muestreo.



Fuente: Elaboración propia con bases gráficas del Google Earth.

2.2. Diseño de muestreo

Se efectuaron campañas en dos periodos climáticos: época seca (julio 2023) y época lluviosa (febrero 2024). En cada punto se colectaron tres réplicas de muestras de agua para análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, siguiendo las recomendaciones de la American Public Health Association (APHA, 2017). Paralelamente, se recolectaron macroinvertebrados mediante red de mano tipo D (500 μ m), con tres réplicas por estación, siguiendo el protocolo estándar de muestreo multihábitat (Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B., 1999, pág. 1).

2.3. Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos

Los parámetros seleccionados se basaron en su relevancia para la calidad hídrica y en la normativa boliviana (DS 24176, Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, 1995): pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), nitratos, fosfatos, sólidos suspendidos totales, turbidez y coliformes fecales. Las mediciones in situ incluyeron

temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto.

Las muestras de laboratorio fueron analizadas en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho" (CEANID), con espectrofotómetro UV-Vis Hach DR3900, incubadora de coliformes y balanza analítica Mettler Toledo. La elección de estos parámetros responde a su sensibilidad frente a descargas antrópicas y a su inclusión en índices internacionales de calidad de agua (Kumar, D., Bindra, S., & Kumar, P., 2024, págs. 1-20)

2.4. Índice de Calidad del Agua (ICA/WQI)

El ICA se calculó según la metodología de Brown et al. (1970), págs 1-15, ajustada por el National Sanitation Foundation (NSF), utilizando nueve parámetros con sus respectivos pesos de calidad. El valor final se interpretó de acuerdo con las categorías: excelente (90-100), buena (70-90), media (50-70), mala (25-50) y muy mala (<25) (Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., & Dobhal, R., 2013); (Xu, J., et al., 2024), págs. 1 – 15.

2.5. Índice Biológico BMWP

Los macroinvertebrados recolectados fueron identificados a nivel de familia empleando claves taxonómicas sudamericanas (Domínguez, E., & Fernández, H. R., 2009, págs. 1-22). A cada familia se le asignó un puntaje de tolerancia de 1 a 10 según el BMWP, sumando los valores para cada punto de muestreo. La interpretación se realizó con la clasificación propuesta para Sudamérica, donde >100 indica aguas no contaminadas y <10 aguas altamente contaminadas

2.6. Análisis de datos

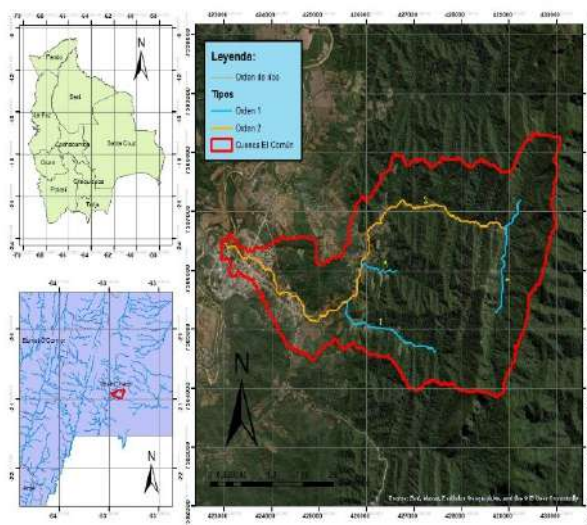
Los resultados de ICA y BMWP se compararon entre periodos climáticos y estaciones de muestreo mediante análisis de varianza con un nivel de significancia del 5%, empleando software Microsoft Excel.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar, se presentan los resultados obtenidos a partir de los análisis de calidad de agua realizados por el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) de la Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho", el cual se encuentra totalmente acreditado para realizar este tipo de análisis. Dichos resultados corresponden a dos campañas de muestreo efectuadas en distintos sectores de la cuenca (alta y baja), cuyos detalles se describen a continuación:

- Primer muestreo: 27 de octubre de 2023, en la cuenca alta y baja.
- Segundo muestreo: 17 de julio de 2024, en la cuenca alta y baja.

Figura 2. Delimitación de la cuenca El Común, Caraparí.



Fuente: Elaboración propia con base del GeoBolivia y software ArcGIS.

Los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 1 y 2, que muestran los valores registrados para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en cada campaña.

Figura 3. Equipo de trabajo, equipados y ubicados en el primer punto de muestreo en la zona baja.



Fuente: Registro fotográfico propio.

Figura 4. Medición de caudales y aforos respectivos en el punto de muestreo en la cuenca alta.



Fuente: Registro fotográfico propio.

Tabla 1. Resultados obtenidos en la primera campaña de toma de muestras.

Parámetro	Unidad	Resultado muestreo 1 (Cuenca alta)	Resultado muestreo 2 (Cuenca baja)
DBO5	mg/l	18,20	25,20
Fósforo total	mg/l	0,05	0,08
Nitratos	mgNO3/l	1,80	2,70
pH	-	7,68	7,96
Sólidos disueltos totales	mg/l	125,50	219,00
Turbiedad	UNT	2,02	1,05
Coliformes fecales	NMP/100 ml	7,5*10 ³	4,6*10 ⁴
Oxígeno Disuelto	ppm	0,13	0,09
Temperatura	°C	19	18

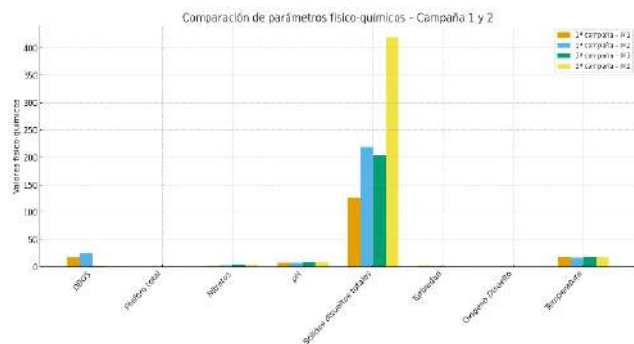
Fuente: Resultados obtenidos por el laboratorio del CEANID de la UAJMS.

Tabla 2. Resultados obtenidos en la segunda campaña de toma de muestras.

Parámetro	Unidad	Resultado muestreo 1 (Cuenca alta)	Resultado muestreo 2 (Cuenca baja)
DBO5	mg/l	<1	<1
Fósforo total	mg/l	0,05	0,03
Nitratos	mgNO3/l	4,3	3,90
pH	-	8,90	8,78
Sólidos disueltos totales	mg/l	204	420
Turbiedad	UNT	0,33	0,57
Coliformes fecales	NMP/100 ml	4,0*10 ²	2,0*10 ³
Oxígeno Disuelto	ppm	0,19	0,01
Temperatura	°C	19	19

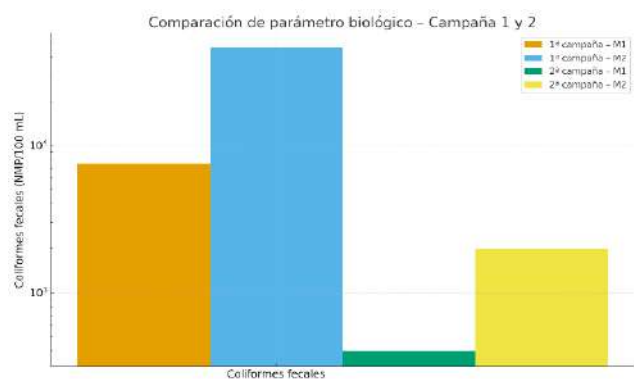
Fuente: Resultados obtenidos por el laboratorio del CEANID de la UAJMS.

Figura 5. Comparación de parámetros físicos-químicos en campañas 1 y 2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Comparación de parámetros biológicos en campañas 1 y 2.



Fuente: Registro fotográfico propio.

3.1. Comparación general de los resultados

En la primera campaña (2023) se observó que la cuenca baja presenta condiciones menos favorables que la cuenca alta en la mayoría de los parámetros:

- DBO₅: alcanzó 25,2 mg/L en la cuenca baja frente a 18,2 mg/L en la cuenca alta, indicando alta carga orgánica y clasificando ambas aguas en clase C (contaminada).
- Fósforo total y nitratos: mayores en la cuenca baja (0,08 mg/L y 2,7 mg/L) frente al alta (0,05 mg/L y 1,8 mg/L). Aunque dentro de límites permisibles para clase B, sugieren aporte creciente de nutrientes, asociado a procesos de eutrofización.

- Sólidos disueltos totales: 219 mg/L en cuenca baja frente a 125,5 mg/L en alta, ambos valores dentro de la clase B, pero con tendencia a deterioro.
- Turbiedad: menor en cuenca baja (1,05 UNT) que en el alta (2,02 UNT), sin implicaciones graves.
- Coliformes fecales: muy elevados, con $4,6 \times 10^4$ NMP/100 mL en cuenca baja y $7,5 \times 10^3$ en el alta. Estos valores superan ampliamente los límites de clases A y B, situando al agua en clase C/D (contaminada a muy contaminada), lo que descarta su aptitud para consumo humano sin tratamiento avanzado.
- Oxígeno disuelto: extremadamente bajo en ambas cuencas (0,13 y 0,09 ppm), lo que refleja hipoxia crítica y ubica al agua en clase D (muy contaminada), inadecuada para la vida acuática sensible.

En la segunda campaña (2024) se evidenciaron algunas variaciones:

- DBO₅: <1 mg/L en ambas cuencas, lo que refleja una carga orgánica baja, clasificando en clase A (buena calidad).
- Nitratos y fósforo total: ligeramente mayores en cuenca alta (4,3 y 0,05 mg/L) frente a la baja (3,9 y 0,03 mg/L). Estos valores se mantienen dentro de clase B, aunque con indicios de aporte difuso.
- Sólidos disueltos totales: se duplicaron en cuenca baja (420 mg/L) frente a 204 mg/L en cuenca alta, lo que la sitúa en el límite de clase C (contaminada).
- Turbiedad: más elevada en cuenca baja (0,57 UNT) que en alta (0,33 UNT), aunque ambos valores siguen siendo bajos.

- Coliformes fecales: $2,0 \times 10^3$ en cuenca baja y $4,0 \times 10^2$ en alta, lo que coloca a ambas aguas en clase C/D, restringiendo su uso para consumo humano.
- Oxígeno disuelto: nuevamente crítico (0,19 ppm en alta y 0,01 ppm en baja), lo que clasifica en clase D, incompatible con la vida acuática normal.

3.2. Clasificación normativa según la Ley 1333.

La siguiente tabla, sintetiza la clasificación de cada parámetro medido en ambas campañas de acuerdo con la normativa boliviana.

Tabla 3. Clasificación de las aguas según el RMCH de la Ley 1333.

Parámetro	M1-Alta	Clase	M1-Baja	Clase	M2-Alta	Clase	M2-Baja	Clase
DBO5	18,2	C	25.2	C	<1	A	<1	A
Fósforo (mg/L)	0.05	B	0.08	B	0.05	B	0.03	B
Nitratos (mg/L)	1.8	B	2.7	B	4.3	B	3.9	B
pH	7.68	A	7.96	A	8.9	A	8.78	A
SST (mg/L)	125.5	B	219.0	B	204.0	B	420.0	C
Turbiedad (UNT)	2.02	A	1.05	A	0.33	A	0.57	A
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	7.5×10^3	C/D	4.6×10^4	D	4.0×10^2	C	2.0×10^3	C/D
Oxígeno Disuelto (mg/L)	0.13	D	0.09	D	0.01	D	0.01	D

Fuente: Elaboración propia con base en los parámetros de calidad del agua establecidos en la Ley 1333.

La comparación entre campañas y sectores indica que la cuenca baja concentra los principales problemas de contaminación, tanto orgánica como microbiológica, lo cual coincide con la presencia de descargas domésticas y agrícolas. El hecho de que el oxígeno disuelto se mantenga en niveles críticos (<1 ppm) en ambos muestreos refleja una condición de estrés ecológico severo, incluso en periodos de baja carga orgánica, lo que confirma la necesidad de monitoreo continuo y medidas de mitigación.

3.3. Determinación del ICA

El Índice de Calidad del Agua (ICA), se utiliza para evaluar la aptitud de un cuerpo de agua en función de sus usos prioritarios. El ICA, propuesto por Brown, es una versión modificada del Water Quality Index (WQI) desarrollado por la Fundación Nacional de Saneamiento de EE.UU. (NSF) en 1970. Este índice permite medir y comparar la calidad del agua en diferentes tramos de ríos a lo largo del tiempo y entre distintos ríos a nivel mundial, ayudando a determinar la salud de un tramo específico.

Para calcular el ICA, se consideran nueve parámetros prioritarios:

- » Coliformes Fecales (NMP/100 mL)
- » pH (unidades de pH)
- » Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/L)
- » Nitratos (NO3 en mg/L)
- » Fosfatos (PO4 en mg/L)
- » Cambio de la Temperatura (°C)
- » Turbidez (FAU)
- » Sólidos disueltos totales (mg/L)
- » Oxígeno disuelto (% saturación)

El proceso para desarrollar el ICA incluyó la identificación de factores prioritarios mediante cuestionarios a expertos, asignación de pesos relativos a los parámetros, y la verificación de su aplicabilidad en

campo. El ICA se clasifica en una escala de 0 a 100, donde un valor máximo indica condiciones óptimas y valores más bajos reflejan un aumento en la contaminación. La clasificación del ICA es la siguiente:

- » Excelente: 91 a 100
- » Buena: 71 a 90
- » Regular: 51 a 70
- » Mala: 26 a 50
- » Pésima: 0 a 25

Las aguas con un ICA superior a 90 son adecuadas para una alta diversidad de vida acuática y contacto directo, mientras que un ICA inferior a 25 indica condiciones muy pobres que no son aceptables para actividades recreativas. A continuación, se hace una descripción de los pesos asignados según el modelo:

Tabla 4. Pesos designados para el modelo ICA.

N°	Sub(i)	W(i)
1	Coliformes fecales	0.15
2	pH	0.12
3	DBO5	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Temperatura	0.10
7	Turbidez	0.08
8	Sólidos disueltos	0.08
9	Oxígeno disuelto	0.17

Fuente: colectado desde El Índice de calidad de agua propuesto por Brown, versión modificada del "WQI" (Water Quality Index) que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF)

Estos parámetros sirvieron para obtener el índice ICA, el cual mediante un análisis respectivo arrojó los siguientes valores.

A continuación, se hace una descripción general de los valores obtenidos aplicados a diferentes zonas y en distintas fechas.

Tabla 5. Valores estimados para cada parámetro.

N°	Sub(i)	W(i)	Subi	Subi	Subi	Subi
			C.A.	C.B.	C.A.	C.B.
1	Coliformes fecales	0.15	12	3	28	15
2	pH	0.12	88	90	52	57
3	DBO5	0.10	15	8	100	100
4	Nitratos	0.10	95	90	80	82
5	Fosfatos	0.10	95	95	95	95
6	Temperatura	0.10	9	9	9	9
7	Turbidez	0.08	92	92	91	90
8	Sólidos disueltos	0.08	80	70	74	46
9	Oxígeno disuelto	0.17	1	1	1	1
Totales		1,00	54,11	50.89	58.89	55.00

Fuente: colectado desde El Índice de calidad de agua propuesto por Brown, versión modificada del "WQI" (Water Quality Index) que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF)

Entonces, durante el primer periodo de la gestión 2023 es:

Y, por otra parte, en el segundo periodo durante la gestión 2024 es:

- » La calidad del agua en la cuenca alta es: 54,11.
- » La calidad del agua en la cuenca baja es: 50,89.
- » La calidad del agua en la cuenca alta es: 58,89.
- » La calidad del agua en la cuenca baja es: 55,00.

Tabla 6. Clasificación general de los valores obtenidos por el modelo.

Calidad de agua	Color	Valor	C.A.1	C.B.1.	C.A.2	C.B.2
Excelente		91 a 100				
Buena		71 a 90				
Regular		51 a 70	x		x	x
Mala		26 a 50		x		
Pésima		0 a 25				

Fuente: Elaboración propia con base a los parámetros establecidos en el snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf

3.4. Interpretación de la Primera Evaluación - Gestión 2023.

3.4.1. Cuenca Alta: 54,11

Descripción: En el primer periodo de la gestión 2023, la calidad del agua en la cuenca alta se sitúa en un valor de 54,11. Este valor se encuentra en el rango de 51 a 70, lo que corresponde a la categoría de "Regular" según la tabla proporcionada.

● Categoría de Calidad: Regular

Análisis: La calidad del agua en la cuenca alta es clasificable como "Regular", lo que indica que, aunque el agua no está en las categorías de "Mala" o "Pésima", presenta una calidad que puede requerir atención. Los problemas pueden incluir niveles moderados de contaminación o impactos ambientales que afectan la salud del agua. Es recomendable implementar estrategias de monitoreo y mejoras para elevar la calidad a un nivel "Bueno".

3.4.2. Cuenca Baja: 50,89

Descripción: En el primer periodo de la gestión 2023, la calidad del agua en la cuenca baja se sitúa en un valor de 50,89, que también cae dentro del rango de 26 a 50, clasificado como "Mala" en la tabla.

● Categoría de Calidad: Mala

Análisis: La calidad del agua en la cuenca baja es considerablemente peor, clasificada como "Mala". Esto indica problemas significativos en la calidad del agua, como altos niveles de contaminantes o turbidez. Este estado requiere atención urgente y medidas correctivas para mejorar la calidad del agua y proteger la salud pública.

3.5. Interpretación de la Segunda Evaluación - Gestión 2024.

3.5.1. Cuenca Alta: 58,89

Descripción: En el segundo periodo de la gestión 2024, la calidad del agua en la cuenca alta ha me-

jorado a un valor de 58,89, que sigue estando en el rango de 51 a 70, clasificado como "Regular".

● Categoría de Calidad: Regular

Análisis: Aunque ha habido una mejora en la calidad del agua en la cuenca alta, el resultado todavía se clasifica como "Regular". Esta mejora indica que se han realizado avances en la gestión de la calidad del agua, pero aún es necesario continuar con esfuerzos para alcanzar un estándar "Bueno". Es crucial mantener y fortalecer las acciones para asegurar una calidad del agua más saludable.

3.5.2. Cuenca Baja: 55,00

Descripción: En el segundo periodo de la gestión 2024, la calidad del agua en la cuenca baja también ha mejorado a un valor de 55,00, ubicándose en el rango de 51 a 70, clasificado como "Regular".

● Categoría de Calidad: Regular

Análisis: La calidad del agua en la cuenca baja ha mejorado, pasando de "Mala" a "Regular". Esto refleja esfuerzos exitosos para abordar la contaminación y mejorar la calidad del agua, pero aún se encuentra en un estado que requiere vigilancia y mejora continua. Las medidas deben centrarse en reducir los contaminantes y mejorar los procesos de tratamiento para lograr una calidad del agua que sea consistentemente "Buena".

3.6. Determinación del índice BMWP

El procedimiento para el cálculo del índice IBMWP requiere la identificación previa en campo (visu) y el procesado en laboratorio de las diferentes familias recogidas mediante el protocolo de muestreo y laboratorio de fauna bentónica de invertebrados en ríos vadeables (ML-Rv-I-2013) elaborado por la Dirección General del Agua. Una vez procesada y analizada la muestra (en campo y laboratorio) se anotan las familias y se asignan las puntuaciones correspondientes (tabla de puntuaciones en anexo

l) y se van sumando hasta obtener un valor final, que será el resultado del índice IBMWP.

3.6.1. Tratamiento de los datos

Con la puntuación del IBMWP, obtenida según el procedimiento descrito en el punto anterior, se procederá a determinar el estado / potencial ecológico de la masa de agua. Para esta clasificación se deberán tener en cuenta las fronteras de estado ecológico establecidas legalmente para el indicador IBMWP en el tipo de masa de agua que corresponda.

En este sentido habrá que comparar el valor de IBMWP obtenido en el muestreo con el valor de referencia establecido para el tipo de masa de agua en cuestión para obtener un Ratio de Calidad Ecológica (RCE). El valor final del RCE obtenido se compara con los valores frontera del tipo de masa de agua para la métrica IBMWP y se clasifica el estado ecológico.

$$\text{Ratio de Calidad Ecológica} = \frac{\text{Valor Observado}}{\text{Valor de referencia}}$$

Tabla 7. Clasificación de la fuente de agua.

CÓDIGO	ARÁCNIDOS	Punt.
ACA001SPQR	Acariformes ¹	4

CÓDIGO	COLEÓPTEROS	Punt.
CHRO09FAMI	Chrysomelidae	4
CUR001FAMI	Curculionidae	4
DRY001FAMI	Dryopidae	5
DYT001FAMI	Dytiscidae	3
ELM001FAMI	Elmidae	5
GYR001FAMI	Gyrinidae	3
HAL002FAMI	Halplidae	4
HEL002FAMI	Helophoridae	5
HYD008FAMI	Hydraenidae	5
HYD013FAMI	Hydrochidae	5
HYD011FAMI	Hydrophilidae	3
HYG001FAMI	Hygrobiidae	3
NOT004FAMI	Noteridae	3
PSE004FAMI	Psephenidae	3
SCIO01FAMI	Scirtidae (=Helodidae)	3

CÓDIGO	CRUSTÁCEOS	Punt.
ASE001FAMI	Aseidae	3
AST003FAMI	Astacidae	8
ATY001FAMI	Atyidae	6
COR003FAMI	Corophiidae	6
GAM001FAMI	Gammaridae	6
OST001CLAS	Ostracoda	3
PAL004FAMI	Palaemonidae	6

CÓDIGO	DÍPTEROS	Punt.
ANT004FAMI	Anthomyiidae ²	4
ATH001FAMI	Athericidae	10
BLE001FAMI	Blephariceridae	10
CER006FAMI	Ceratopogonidae	4
CHIO01FAMI	Chironomidae	2
CULO01FAMI	Culicidae	2
DIX001FAMI	Dixidae	4
DOL001FAMI	Dolichopodidae	4
EMP001FAMI	Empididae	4
EPHO03FAMI	Ephydriidae	2
LIM005FAMI	Limonidae	4
PSY001FAMI	Psychodidae	4
PTY001FAMI	Ptychopteridae	4
RHA004FAMI	Rhagionidae	4
SCA002FAMI	Scatophagidae ²	4
SCIO02FAMI	Sciomyzidae	4
SIM002FAMI	Simuliidae	5
STRO03FAMI	Stratiomyidae	4
SYRO02FAMI	Syrphidae	1
TAB002FAMI	Tabanidae	4
THA003FAMI	Thaumaleidae	2
TIP001FAMI	Tipulidae	5

CÓDIGO	EFEMERÓPTEROS	Punt.
BAE001FAMI	Baetidae	4
CAE001FAMI	Caenidae	4
EPHO02FAMI	Ephemerellidae	7
EPHO01FAMI	Ephemeridae	10
HEP001FAMI	Heptageniidae	10
LEP003FAMI	Leptophlebiidae	10
OLI002FAMI	Oligoneuridae	5
POL020FAMI	Polymitarcidae	5
POT003FAMI	Potamanthidae	10
PRO010FAMI	Prosopistomatidae	7
SIP001FAMI	Siphonuridae	10

CÓDIGO	HETERÓPTEROS	Punt.
APH001FAMI	Aphelocheiridae	10
COR004FAMI	Corixidae	3
COR002FAMI	Gerridae	3
HYD014FAMI	Hydrometridae	3
MES001FAMI	Mesovellidae	3
NAU001FAMI	Naucoridae	3
NEP002FAMI	Nepidae	3
NOT003FAMI	Notonectidae	3
PLE004FAMI	Pleidae	3
VEL001FAMI	Veliidae	3

CÓDIGO	HIRUDÍNEOS	Punt.
ERP001FAMI	Erbopdelidae	3
GLO005FAMI	Glossiphoniidae	3
HIRO02FAMI	Hirudidae (=Hirudinidae)	3
PIS003FAMI	Piscicolidae	4

CÓDIGO	NEURÓPTEROS	Punt.
SIA001FAMI	Sialidae	4

CÓDIGO	LEPIDÓPTEROS	Punt.
PYR004FAMI	Crambidae (=Pyralidae)	4

CÓDIGO	MOLUSCOS	Punt.
ANC001FAMI	Ancylidae	6
BIT001FAMI	Bithyniidae	3
FER002GENE	Ferrissia ³	6
HYD005FAMI	Hydrobiidae	3
LYM001FAMI	Lymnaeidae	3
NER001FAMI	Neritidae	6
PHY003FAMI	Physidae	3
PLA003FAMI	Planorbidae ⁴	3
SPHO06FAMI	Sphaeriidae	3
THI001FAMI	Thiaridae	6
UNI001FAMI	Unionidae	6
VAL001FAMI	Valvatidae	3
VIV001FAMI	Viviparidae	6

CÓDIGO	ODONATOS	Punt.
AES001FAMI	Aeshnidae	8
CAL004FAMI	Calopterygidae	8
COE001FAMI	Coenagrionidae	6
COR012FAMI	Cordulegasteridae	8
COR008FAMI	Cordulidae	8
GOM003FAMI	Gomphidae	8
LES001FAMI	Lestidae	8
LIB001FAMI	Libellulidae	8
PLA004FAMI	Platycnemididae	6

CÓDIGO	OLIGOQUETOS	Punt.
Todos		1

CÓDIGO	PLECÓPTEROS	Punt.
CAP003FAMI	Capniidae	10
CHL004FAMI	Chloroperlidae	10
LEU004FAMI	Leuctridae	10
NEM001FAMI	Nemouridae	7
PER004FAMI	Perlidae	10
PER006FAMI	Perlodidae	10
TAE001FAMI	Taeniopterygidae	10

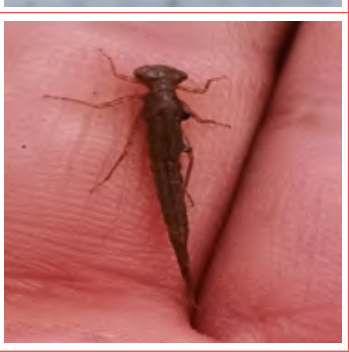
CÓDIGO	TRICÓPTEROS	Punt.
BER001FAMI	Beraeidae	10
BRA006FAMI	Brachycentridae	10
CAL002FAMI	Calamoceratidae	10
ECN001FAMI	Ecnomidae	7
GLO004FAMI	Glossosomatidae	8
GOE001FAMI	Goeridae	10
HYD006FAMI	Hydropsychidae	5
HYD012FAMI	Hydroptilidae	6
LEP008FAMI	Lepidostomatidae	10
LEP004FAMI	Leptoceridae	10
LIM002FAMI	Limnephilidae	7
MOL001FAMI	Molannidae	10
ODO001FAMI	Odontoceridae	10
PHI001FAMI	Philopotamidae	8
PHR002FAMI	Phryganeidae	10
POL003FAMI	Polycentropodidae	7
PSY002FAMI	Psychomyiidae	8
RHY001FAMI	Rhyacophilidae	7
SER001FAMI	Sericostomatidae	10
UEN001FAMI	Ulenoidae (=Thremmatidae)	10

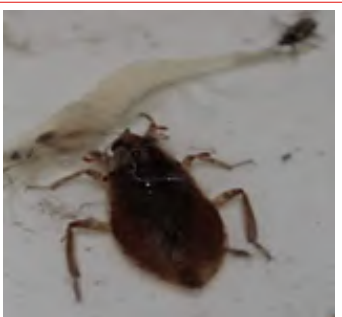
CÓDIGO	TURBELARIOS	Punt.
DEN001FAMI	Dendrocoelidae	5
DUG001FAMI	Dugesidae	5
PLA005FAMI	Planariidae	5

Fuente: Colectado desde el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España,
https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitco/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/IBMWP-2013_24_05_2013_tcm30-175292.pdf

La identificación de las especies se llevó a cabo durante las diferentes campañas realizadas. Los especímenes considerados son los siguientes:

Tabla 8. Macroinvertebrados identificados en la cuenca El Común.

Scirtidae	
Baetidae	
Notonectidae	
Aeshnidae	

Lestes viridis	
Belostoma asiaticum	
Blephariceridae	
Caenidae	
Chironomidae	

En primera instancia, se procedió a revisar el listado establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 9. Clasificación de los macroinvertebrados identificados,

NOMBRES	Primer Ingreso		Segundo Ingreso	
	CA1	CA2	CA1	CA2
Acariforme				
Aeshnidae	x	x	x	x
Ancylidae				
Astacidae				
Atheridae				
Atyidae				
Baetidae	x	x	x	x
Blephariceridae	x		x	
Brachycentridae				
Caenidae	x	x	x	x
Calopterygidae				
Cambaridae				
Ceratopogonidae				
Chironomidae	x	x	x	x
Chloroperlidae	x	x		
Coeangrionidae				
Cordulegasteridae				
Corixidae				
Culicidae	x	x	x	x
Dixidae				
Elmidae				
Empididae				
Ephemerellidae				
Ephemeridae	x	x		x
Erpobdellidae				
Gammaridae				
Gerridae				
Glossiphonidae				

Glossosomatidae				
Gomphidae				
Gyrinidae				
Heptageniidae	x	x	x	x
Hydraenidae				
Hydrobiidae				
Hydrophilidae				
Hydropsychidae				
Leptoceridae				
Leptophlebiidae				
Leuctridae				
Limnephilidae				
Nemouridae	x	x	x	x
Notonectidae	x	x	x	x
Oligochaeta				
Oligoneuriidae	x	x	x	x
Perlidae				
Perlodidae				
Physidae				
Platycnemididae				
Polymitarcidae				
Psychodidae				
Psychomyiidae				
Rhyacophilidae				
Scirtidae	x	x	x	x
Sericostomatidae				
Simuliidae				
Siphonuridae				
Sphaeriidae				
Succineidae				
Syrphidae				
Tipulidae				
SUMA TOTAL				

Fuente: *colectado desde el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España, https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/IB-MWP-2013_24_05_2013_tcm30-175292.pdf*

Como se puede observar, la tabla se encuentra vacía y no cuenta con los valores respectivos, por tanto, estos valores serán establecidos en función a la siguiente tabla, en la cual se deben considerar ciertas excepciones, la primera hace referencia que los valores de los Succineidae deben ser anulados por no contar con la información necesaria, como también asumir que los oligoquetos y cambaridae asumen valores referenciales establecidos en la Tabla 7.

Una vez identificados los valores se obtiene la siguiente tabla, en la cual se reflejan los valores correspondientes a cada especie.

Tabla 10. Asignación de valores a cada especie identificada,

NOMBRES	Primer Ingreso		Segundo Ingreso	
	CA1	CA2	CA1	CA2
Acariforme				
Aeshnidae	8	8	8	8
Ancylidae				
Astacidae				
Atheridae				
Atyidae				
Baetidae	4	4	4	4
Blephariceridae	10		10	
Brachycentridae				
Caenidae	4	4	4	4
Calopterygidae				
Cambaridae				
Ceratopogonidae				
Chironomidae	2	2	2	2
Chloroperlidae	10	10		
Coeangrionidae				
Cordulegasteridae				
Corixidae				
Culicidae	2	2	2	2

Dixidae				
Elmidae				
Empididae				
Ephemerellidae				
Ephemeridae	10	10		10
Erpobdellidae				
Gammaridae				
Gerridae				
Glossiphonidae				
Glossosomatidae				
Gomphidae				
Gyrinidae				
Heptageniidae	10	10	10	10
Hydraenidae				
Hydrobiidae				
Hydrophilidae				
Hydropsychidae				
Leptoceridae				
Leptophlebiidae				
Leuctridae				
Limnephilidae				
Nemouridae	7	7	7	7
Notonectidae	3	3	3	3
Oligochaeta				
Oligoneuriidae	5	5	5	5
Perlidae				
Perlodidae				
Physidae				
Platycnemididae				
Polymitarcidae				
Psychodidae				
Psychomyiidae				
Rhyacophilidae				
Scirtidae	3	3	3	3

Sericostomataidae				
Simuliidae				
Siphonuridae				
Sphaeriidae				
Succineidae				
Syrphidae				
Tipulidae				
Suma Total	78	68	58	58

fuerce: colectado desde el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España, https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/IBMWP-2013_24_05_2013_tcm30-175292.pdf

Con los valores referenciales procedemos a calcular los valores de relación para cada uno de los códigos, de la siguiente manera práctica, para ello se procede a asignar un color respectivo y representativo, considerando límites de Malo (rojo), Deficiente (Naranja), Moderado (amarillo), Bueno (verde), Muy Malo (azul), tal como se muestra a continuación:

Ahora, si bien se hizo un análisis respectivo, en la presente tabla se colocan cada uno de los valores encontrados en la suma total que se hizo con posterioridad, la cual será comparada con los valores estándar reflejado en la tabla anterior.

Para finalmente obtener los siguientes resultados cualitativos, reflejaos en la última columna del lado derecho de la presente tabla:

Tabla 11. Valores obtenidos según el modelo IBMWP.

Nombre	tipo	código interno	Condicion de ref.	Muy bueno /bueno	Bueno / moderado	Moderado / deficiente	Deficiente / malo	Valores encontrados	Valoración
CAI	Ríos de montaña mediterránea calcárea	R-T12	186	152.52	93	55.8	22.32	78	Moderado
CA2		R-T12	186	152.52	93	55.8	22.32	68	Moderado
CA1		R-T12	186	152.52	93	55.8	22.32	58	Moderado
CA2		R-T12	186	128.34	78.12	44.64	18.6	58	Moderado

Fuente: colectado desde el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España, https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/IBMWP-2013_24_05_2013_tcm30-175292.pdf

En la evaluación de la calidad del agua en diferentes puntos de la quebrada El Común, ubicado en el municipio de Caraparí, se han realizado mediciones bajo el código interno R-T12. Los puntos de muestreo, denominados CA1, CA2 (dos muestras) y CA1, pertenecen a la categoría de ríos de montaña mediterránea calcárea.

Los resultados obtenidos indican que la calidad del agua en todos los puntos de muestreo se clasifica como "Moderado". Esta clasificación se basa en las comparaciones realizadas entre los valores medidos y los parámetros establecidos para las diferentes categorías de calidad del agua. En cada uno de los puntos de muestreo, los valores encontrados se sitúan predominantemente en la categoría de "Moderado/deficiente", con escasos valores en las categorías "Muy bueno/bueno" y "Bueno/moderado".

El análisis muestra que la calidad del agua en estas secciones de la quebrada "El Común" es aceptable, pero presenta ciertos problemas. Aunque no se encuentra en la categoría de "Deficiente/malo", la clasificación de "Moderado" sugiere que el agua podría no cumplir con todos los requisitos para usos específicos sin un tratamiento adecuado. Los datos reflejan una calidad que, aunque no crítica, requiere atención para mejorar y asegurar que el agua sea apta para su uso previsto y para proteger la salud ambiental de la zona.

4. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las siguientes conclusiones:

El estudio realizado en la quebrada "El Común" permitió identificar que la calidad del agua varía notablemente entre la cuenca alta y la cuenca baja, así como entre los dos periodos de muestreo considerados. En la primera campaña, los resultados mostraron una situación más crítica en la cuenca baja, con valores elevados de demanda bioquímica de oxígeno, coliformes fecales, fósforo y nitratos, lo que refleja una alta carga orgánica y nutrientes pro-

venientes de actividades antrópicas. Estos resultados se acompañaron de niveles muy bajos de oxígeno disuelto, que clasifican el agua en categorías de contaminación severa. En la segunda campaña se evidenció una ligera mejora en algunos parámetros, particularmente en la DBO5, que descendió a valores propios de aguas de clase A. Sin embargo, otros indicadores como los sólidos disueltos, los coliformes fecales y el oxígeno disuelto continuaron mostrando condiciones deficientes, lo que confirma que, a pesar de ciertas mejoras puntuales, la calidad general del recurso permanece comprometida.

La comparación de los parámetros analizados con los criterios de la Ley 1333 de Medio Ambiente y su Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica permite concluir que la cuenca alta mantiene en general condiciones aceptables, clasificadas mayormente como clase B, mientras que la cuenca baja se ubica de manera reiterada en clases C y D, es decir, aguas contaminadas o muy contaminadas. Esto implica que, aunque el agua podría destinarse a usos restringidos como riego o recreación sin contacto directo, no cumple con los requisitos para consumo humano sin un tratamiento avanzado.

Los análisis biológicos, complementados con el índice BMWP, confirmaron estas tendencias, al mostrar una disminución de macroinvertebrados sensibles y un predominio de especies tolerantes, lo que indica una alteración en la estructura ecológica del ecosistema. Esta evidencia refuerza la necesidad de considerar evaluaciones integrales que incluyan tanto parámetros fisicoquímicos como biológicos para obtener un diagnóstico robusto de la calidad del agua.

En términos generales, se puede afirmar que la quebrada "El Común" se encuentra en un estado ecológico regular con tendencia a la degradación, impulsada principalmente por descargas domésticas y agrícolas. Esta condición no solo amenaza la biodiversidad acuática, sino que también compromete la seguridad hídrica de la población de Caraparí, que

depende de este recurso. Por ello, resulta urgente implementar estrategias de gestión que incluyan el control de vertidos, la mejora en el tratamiento de aguas residuales, la reducción de cargas de nutrientes y la aplicación de planes de restauración ecológica en la cuenca. Solo mediante un enfoque integral y sostenido será posible revertir la tendencia de deterioro y garantizar la disponibilidad de agua en condiciones seguras y sostenibles para la comunidad y el ecosistema.

5. BIBLIOGRAFÍA

5.1. Artículos consultados

-  APHA. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). Retrieved from American Public Health Association.
-  Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers (2nd ed.). U.S. Retrieved from Environmental Protection Agency.
-  Domínguez, E., & Fernández, H. R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: Sistemática y biología. Retrieved from Fundación Miguel Lillo.: https://www.researchgate.net/publication/260417584_Macroinvertebrados_benticos_Sudamericanos_Sistemática_y_Biología
-  Hora Revilla, M. E., et al. (2025). Calibration and validation of the BMWP Index for high Andean basins. Retrieved from Water, 17(12), 1724: <https://www.mdpi.com/2073-4441/17/12/1724>
-  Kumar, D., Bindra, S., & Kumar, P. (2024). Global water quality indices: Development, implications and challenges. Retrieved from Environmental Advances, 12, 100175.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950395723000176>
-  Ley 1333. (1992). Clases de calidad de aguas y disposiciones generales. Retrieved from Ministerio de Medio Ambiente y Aguas: https://aquaknow.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/5.ley_1333-bolivia-_aguas_residuales.pdf?utm_source=chatgpt.com
-  Nature Portfolio. (2025). Optimizing water quality index using machine learning. Retrieved from Scientific Reports: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-10187-8>
-  Orozco-González, C. E., Martínez-Colón, M., & Díaz, E. A. (2023). Aquatic macroinvertebrates as bioindicators of water quality. Retrieved from Hydrology, 4(2), 15.: <https://www.mdpi.com/2673-4133/4/2/15>
-  Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P., & Dobhal, R. (2013). Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index. Retrieved from American Journal of Water Resources, 1(3), 34–38.: <https://pubs.sciepub.com/ajwr/1/3/3/index.html>
-  Xu, J., et al. (2024). Assessing and predicting water quality index with key factors. Retrieved from Scientific Reports, 14, 11854.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024097263>