

## Aplicación del índice de calidad del agua (ICA) en el río “Fin de Arroyo” influenciado por una industria en Shinahota (Cochabamba, Bolivia)

### Application of the Water Quality Index (WQI) in the river “Fin de Arroyo” influenced by an industry in Shinahota (Cochabamba – Bolivia)

Mirtha Judith Rivero Lujan<sup>1,\*</sup>, José Paul Zubieta Zubieta<sup>2</sup>, Fernando M. Carvajal-Vallejos<sup>3</sup>

\*Correo de correspondencia: limnomrl@fcyt.umss.edu.bo

#### Resumen

Este estudio evaluó la calidad del agua en un río adyacente a una industria en Shinahota (cuatro puntos – FP1-FP4), y en cuatro ríos cercanos entre Chimoré y Shinahota (RS1-4), considerados como ríos de menor contaminación. Para interpretar las variables fisicoquímicas, se utilizó el Índice de Calidad del Agua (ICA). El monitoreo se realizó en dos períodos: aguas altas y estiaje, abarcando tanto los ríos contaminados como sitios de menor contaminación. Se seleccionaron ocho variables clave como indicadores de la calidad del agua en relación con la contaminación orgánica: pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), nitratos, fosfatos, temperatura del agua, sólidos disueltos, oxígeno disuelto y coliformes fecales. Los resultados del ICA mostraron que las estaciones de muestreo presentaron una clasificación de calidad del agua dentro de la categoría "regular" en ambas temporadas, con índices entre 57 y 67 en los ríos contaminados, y entre 51 y 62 en los sitios del río RS. Esto sugiere que no hay vertidos industriales significativos que incrementen las variables de contaminación orgánica en el río estudiado. Sin embargo, la calidad del agua del río de estudio está principalmente afectada por altas concentraciones de coliformes fecales (5600 UFC/100 ml), lo que indica contaminación microbiana, principalmente por excretas humanas y animal que son un riesgo potencial para la salud humana y animal al consumir agua de estos ríos.

**Palabras clave:** contaminación, variables fisicoquímicas y bacteriológicas, Chapare, pie de monte, coliformes fecales.

#### Abstract

This study evaluated water quality in a river adjacent to an industry in Shinahota (four points – FP1-4) and in nearby rivers between Chimoré and Shinahota (four rivers – RS1-4), considered to be least polluted rivers. To interpret the physicochemical variables, the Water Quality Index (WQI) was used. Monitoring was carried out in two periods: high water and low water, covering both polluted rivers and sites in the SR river. Eight key variables were selected as indicators of water quality in relation to organic pollution: pH, biochemical oxygen demand (BOD), nitrates, phosphates, water temperature, dissolved solids, dissolved oxygen, and fecal coliforms. The results of the WQI showed that the sampling stations presented a water quality classification within the "regular" category in both seasons, with indices between 57 and 67 in the polluted rivers, and between 51 and 62 in sites of the RS river. This suggests that there are no significant industrial discharges that increase the variables of organic pollution in the river studied. However, the water quality of the study river was mainly affected by high concentrations of fecal coliforms (5600 CFU/100 ml), indicating microbiological contamination by humans and animal excreta. This poses a potential risk to human and animal health by consuming water from these rivers.

**Keywords:** organic waste, contamination, physicochemical and bacteriological variables, Chapare, foothills, fecal coliforms.

<sup>1</sup> Unidad de Limnología y Recursos Acuáticos, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia. <https://orcid.org/0009-0000-8458-2164>

<sup>2</sup> FAUNAGUA, Cochabamba, Bolivia. <https://orcid.org/0009-0007-5528-2059>

<sup>3</sup> Unidad de Limnología y Recursos Acuáticos, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia. <https://orcid.org/0000-0002-9110-490X>

## 1. Introducción

Los ríos son ecosistemas vulnerables a las alteraciones del entorno natural y a las actividades antropogénicas, que suelen impactar negativamente en la calidad de sus aguas (UNICEF & OMS 2017). En el departamento de Cochabamba (Bolivia), los principales contaminantes de los ríos están asociados al crecimiento poblacional y al desarrollo de actividades industriales, comerciales y agropecuarias. Estas actividades incrementan la generación de desechos y aguas residuales, muchas veces descargadas sin tratamiento, lo que provoca una elevada concentración de materia orgánica y coliformes fecales. Dicha contaminación microbiológica representa un riesgo significativo para la salud humana, animal y los organismos acuáticos que dependen de este recurso (Morales et al., 2014).

En Bolivia, según el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA, 2008-2015), el 53 % de la población urbana cuenta con acceso a servicios de alcantarillado sanitario, pero solo el 24,50 % de las aguas residuales recibe un tratamiento adecuado. El resto es vertido directamente en cuerpos de agua como ríos y lagunas, incrementando la contaminación de los sistemas acuáticos. En las áreas rurales, la situación es aún más alarmante ya que más del 60 % de la población carece de saneamiento básico, incluyendo sistemas como cámaras sépticas o pozos ciegos, lo que amplifica el impacto ambiental.

De acuerdo con el informe de evaluación del proyecto “Incremento de la cobertura de agua potable y saneamiento básico para las familias campesinas del municipio de Tiraque – Bolivia (2007-2009)”, en Shinahota, solo el 37 % de los hogares tiene acceso a agua potable. La mayoría de la población se abastece de fuentes contaminadas como ríos y charcos. Además, el 87 % de las viviendas carecen de conexión a sistemas de alcantarillado y las aguas servidas se filtran hacia los ríos, contribuyendo a la contaminación microbiológica. Esta situación ha derivado en un incremento de enfermedades diarreicas agudas (EDAs), particularmente en la población infantil, donde la tasa de mortalidad alcanza los 94 por cada mil nacidos vivos.

En la región de Shinahota (provincia Chapare, Cochabamba), la calidad del agua de los ríos se ve particularmente afectada por actividades industriales. En esta área, una fábrica de palmito ubicada en la zona de Valle Hermoso Segundo, dedicada al procesamiento de productos agrícolas, genera residuos orgánicos durante los procesos de pelado, descabezado y trozado de tallos. Estos desechos son descargados mayoritariamente en el río “Fin de Arroyo”, para lo cual se evaluará la calidad del agua mediante el índice de calidad de agua ICA. Al respecto es importante mencionar que la carga de contaminación orgánica producida por las descargas industriales, pueden no presentar concentraciones elevadas de materia orgánica que puede deberse a la corriente continua del río lo que hace que la materia orgánica se diluya y no se acumule, por otra parte, el río tiene autodepuración natural por lo cual la materia orgánica, se degrada rápidamente y no se detecta contaminación orgánica persistente.

En la región del trópico de Cochabamba las agroindustrias palmiteras (BOLHISPANIA y FABOPAL) tienen una alta tasa de generación de residuos sólidos orgánicos (9.483 t año<sup>-1</sup>), de los cuales el 98 % son biodegradables que pueden provocar impactos negativos en el medio ambiente, para lo cual se propuso una alternativa de obtención de abono orgánico sólido a través de la técnica de compostaje a alta temperatura para incrementar la rapidez de la descomposición (Yañez et al, 2007). Cabe indicar que los reactivos que se utilizan en el procesamiento de palmito son: ácido cítrico (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>) en concentración 0,50-1 %, sal (NaCl) al 2 % y sulfito de sodio (Na<sub>2</sub> SO<sub>3</sub>) de 0,10-0,20 %.

Para evaluar la calidad del agua en los ríos de Shinahota, se empleó el Índice de Calidad del Agua (ICA). Es una versión modificada del Water Quality Index (WQI) desarrollado por la Fundación de Sanidad Nacional (NSF) de EE.UU., permite resumir múltiples variables fisicoquímicas en un solo valor, facilitando el análisis y la interpretación de los datos. No obstante, es importante utilizar el ICA con precaución, ya que la simplificación puede generar interpretaciones incompletas o erróneas (Coello et al., 2013; DINAMA, 2008).

El objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad del agua en sitios de un río “Fin de Arroyo” cercano a una fábrica de palmito en Shinahota utilizando el ICA, con el fin de determinar los niveles de contaminación orgánica. Asimismo, se compararon estos resultados con los obtenidos en ríos menos contaminados de la zona de Chimoré, los cuales fueron tomados como referencia.

## 2. Métodos

El área de estudio comprende la región entre Chimoré y Shinahota, ubicada a 182 km de la capital del departamento de Cochabamba, en la provincia Tiraque. La zona pertenece al Sindicato Agrario de Valle Hermoso Segundo, dentro de Tiraque tropical y está bajo la jurisdicción de la sub alcaldía de Shinahota. Esta región se caracteriza por la producción de palmito. El principal cuerpo de agua, denominado “Fin de Arroyo”, atraviesa la carretera principal y está a unos 400 m al este del Estadio de Shinahota.

### Características geográficas y climáticas

El área de estudio se encuentra a una altitud de 272 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas entre -17.03621 y -16.95621 de latitud y entre -65.28549 y -65.20549 de longitud (INE, 2001). Presenta un clima tropical húmedo, con temperaturas máximas diurnas entre 32-35 °C de enero a abril y temperaturas mínimas (nocturnas): 17-24°C. las temperaturas en invierno (junio-agosto) máxima de 25-30°C diurna y nocturna mínimas: 10-18 °C, según datos utilizados por SENAMHI (2025).

La región experimenta dos épocas climáticas principales. Época de aguas altas, de diciembre a marzo, con precipitaciones que van de 376 a 712 mm, y época de estiaje durante el invierno, de junio a septiembre, con precipitaciones entre 124 y 596 mm.

La barrera orográfica de la cordillera de los Andes influencia la dinámica climática local, atrapando los vientos cálidos y húmedos provenientes de las llanuras amazónicas del norte. Esto genera precipitaciones anuales que superan los 4500 mm (CUMAT-USAID/Bolivia-PDAC, 1989).

### Estaciones de muestreo y metodología

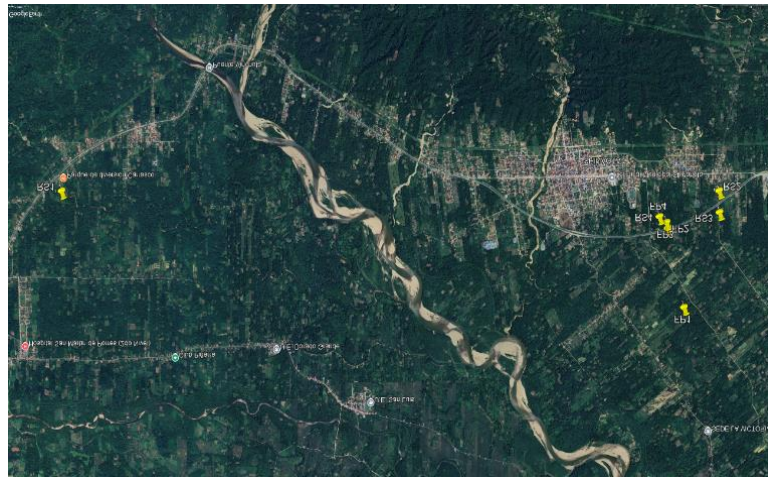
Las estaciones de muestreo fueron establecidas tras un reconocimiento de campo utilizando un GPS y criterios específicos basados en fuentes de contaminación a lo largo del efluente. Estas estaciones fueron FP1: Ubicada debajo de un puente que es utilizado como fuente de agua potable del río “Fin de Arroyo”; entre FP1 y FP2 existe una distancia de 1342 m y con respecto a FP3 de 97 m, entre FP3 y FP4 la distancia fue de 163 m, todos estos puntos localizados a lo largo del efluente contaminado y FP4: situadas inmediatamente aguas abajo del punto de vertido industrial.

Además, se seleccionaron ríos circundantes entre Chimoré y Shinahota como referencia de cuerpos de agua menos contaminados (RS1, RS2, RS3, RS4) (Figura 1). Los ríos estándar fueron de primer orden, y no tenían nombres específicos.

Se realizaron muestreos en las cuatro estaciones mencionadas, durante dos épocas del año (época de aguas altas y de estiaje), con dos repeticiones por estación.

### Figura 1

*Puntos de muestreo (FP1- FP4) y ríos estándar (Menos contaminados RSI-RS4) comprendidas entre Chimoré y Shinahota*



Fuente: Google Earth, imagen 2023 Maxar technologies, imagen CNES / Airbus.

## Variables analizadas y métodos empleados

Para evaluar la contaminación orgánica, se analizaron variables fisicoquímicas (temperatura, pH, oxígeno disuelto), indicadores químicos (Demanda Química de Oxígeno (DQO), nitratos, fosfatos, sólidos disueltos) y microbiológicas (Coliformes fecales).

Las mediciones de las variables fisicoquímicas se realizaron in situ utilizando equipos portátiles como oxímetro y pHmetro. Las muestras destinadas al análisis químico y microbiológico fueron recolectadas en frascos de polipropileno con preservantes adecuados y transportadas a laboratorios para su procesamiento.

Los análisis de laboratorio se realizaron siguiendo los procedimientos establecidos por la American Water Works Association (AWWA), la American Public Health Association (APHA) y la Water Environment Federation (WEF) (2012). Los sólidos disueltos fueron obtenidos mediante técnica gravimétrica (105 °C), con resultados en  $\text{mgL}^{-1}$ . Los valores de DQO se obtuvieron mediante la técnica de oxidación con dicromato de potasio. Los fosfatos ( $\text{mgL}^{-1}$ ), fueron obtenidos mediante la técnica espectrofotométrica con el vanadomolibdato, que reducido por el ácido ascórbico, desarrolla una coloración azul que se mide colorimétricamente. Para los nitratos se utilizó la técnica de reducción con cadmio, resultados en  $\text{mgL}^{-1}$ . Finalmente, los coliformes fecales fueron evaluados mediante la técnica de membrana filtrante, con resultados en UFC/100 ml.

## Determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA)

Para evaluar la calidad del agua, se utilizó el Índice de Calidad del Agua (ICA), que integra múltiples variables en un valor único mediante una suma ponderada.

### Asignación de pesos relativos:

Cada parámetro se ponderó según su relevancia en la contaminación orgánica y el riesgo asociado a su variación. Los pesos asignados suman un total de 1 (Tabla 1).

**Tabla 1***Pesos relativos para cada variable del “ICA”*

<b>VARIABLES</b>	<b>Pesos relativos para cada variable de importancia para el subíndice i (w<sub>i</sub>)</b>
Temperatura	0,10
pH	0,12
Oxígeno disuelto	0,18
DQO	0,12
Nitratos	0,11
Fosfatos	0,11
Sólidos disueltos	0,10
Coliformes fecales	0,16
Total	1,00

**Cálculo del índice:**

$$ICA = \sum_{i=1}^8 (sub_i * w_i)$$

ICA: Índice de calidad del agua

sub<sub>i</sub>: Subíndice de la variable i, obtenido a partir de gráficos establecidos (SNET, 2007).w<sub>i</sub>: Peso relativo asignado a cada subíndice.

Los valores de sub<sub>i</sub> se determinaron mediante gráficas de curvas de función específicas para cada parámetro. El valor medido de cada variable fue trasladado a las abscisas de la gráfica, y el punto de intersección con la curva proporcionó el valor del subíndice correspondiente (Tabla 2).

El ICA tiene un valor máximo de 100 en condiciones óptimas, disminuyendo a medida que aumenta la contaminación (Autoridad Nacional del Agua, 2020; Wills & Irvine, 1996).

**Tabla 2***Clasificación del “ICA”*

<b>Calidad del agua</b>	<b>Color</b>	<b>Valor subíndice</b>
Excelente	Azul	91 a 100
Buena	Verde	71 a 90
Regular	Amarillo	51 a 70
Mala	Anaranjado	26 a 50
Pésima	Plomo	0 a 25

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2022); Wills &amp; Irvine (1996).

### 3. Resultados

En la Tabla 3, se presentan los resultados resumidos de los análisis químicos del agua realizados en las diferentes estaciones y épocas de muestreo, así como en los ríos menos contaminados (RS).

**Tabla 3**

*Promedio de las variables fisicoquímicas en el agua en las diferentes estaciones y épocas, así como en el agua de los ríos menos contaminados (RS)*

Épocas	Época de aguas altas (ELL2)				Época de estiaje (ES2)				Ríos menos contaminados (RS)			
	MARZO				JUNIO				JUNIO			
Mes de colecta	FP1	FP2	FP3	FP4	FP1	FP2	FP3	FP4	RS1	RS2	RS3	RS4
Estaciones	FP1	FP2	FP3	FP4	FP1	FP2	FP3	FP4	RS1	RS2	RS3	RS4
Temperatura (°C)	24,60	26,20	27,40	28,70	18,80	19,20	18,60	18,50	19,20	21,00	17,30	12,40
pH	4,99	5,18	5,49	5,59	5,02	4,98	6,01	5,46	5,13	5,10	5,74	6,43
Oxígeno disuelto (%)	80,10	81,00	44,00	54,00	86,00	81,00	31,00	47,00	70,00	56,00	58,00	85,00
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	≤ 2,00	≤ 2,00	4,00	≤ 2,00	≤ 2,00	≤ 2,00	≤ 2,00	≤ 2,00	6,00	6,00	10,00	6,00
Nitratos (mgL <sup>-1</sup> )	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,00	0,07	0,08	0,10	0,18	0,19
Fosfatos (mgL <sup>-1</sup> )	0,64	1,12	0,78	0,39	0,23	0,21	0,67	0,36	0,45	0,07	0,55	0,00
Sólidos disueltos (mgL <sup>-1</sup> )	18,50	23,00	30,00	31,00	33,50	20,00	41,00	63,00	31,50	20,00	11,00	46,00
Coliforme Fecales (UFC*)	2700,00	5600,00	3600,00	3400,00	5300,00	230,00	1300,00	1900,00	375,00	270,00	150,00	500,00

\*UFC = Unidades Formadoras de Colonias

En la Tabla 4 muestra los valores de los subíndices (sub<sub>i</sub>) obtenidos para cada variable en las distintas estaciones y épocas de muestreo, incluyendo los ríos menos contaminados tomados como estándar.

**Tabla 4**

*Determinación de los sub<sub>i</sub> de las diferentes gráficas para las diferentes variables en las diferentes estaciones y épocas y los ríos menos contaminados (RS)*

Épocas	Época de aguas altas (ELL2)				Época de estiaje (ES2)				Ríos menos contaminados (RS)			
	Sub <sub>i</sub> MARZO				Sub <sub>i</sub> JUNIO				Sub <sub>i</sub> ESTÁNDAR			
Mes de colecta	FP1	FP2	FP3	FP4	FP1	FP2	FP3	FP4	RS1	RS2	RS3	RS4
Estaciones	FP1	FP2	FP3	FP4	FP1	FP2	FP3	FP4	RS1	RS2	RS3	RS4
Temperatura (°C)	39,60	44,40	70,80	81,60	19,40	19,36	18,88	18,80	20,00	25,00	18,00	15,00
pH	25,00	30,40	39,70	42,70	25,30	24,70	52,27	31,90	25,00	25,00	44,98	67,91
Oxígeno disuelto (%)	59,00	60,00	30,40	39,10	91,60	88,60	21,45	39,80	74,00	54,00	57,00	95,00
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	100,00	100,00	98,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	6,00	6,00	32,00	6,00
Nitratos (mgL <sup>-1</sup> )	99,00	99,00	99,00	99,00	99,80	99,85	100,00	99,65	99,60	99,50	99,10	99,05
Fosfatos (mgL <sup>-1</sup> )	61,60	38,32	53,20	76,60	86,20	87,40	59,80	78,40	73,00	95,80	67,00	100,00
Sólidos disueltos (mgL <sup>-1</sup> )	82,59	83,22	84,20	84,34	84,69	82,90	85,74	86,48	83,84	82,40	81,32	85,52
Coliforme Fecales (UFC*)	24,60	18,80	22,80	23,20	25,70	36,50	20,40	19,20	29,25	34,50	41,50	26,00

En la Tabla 5 se presentan los resultados de los valores sub<sub>i</sub> multiplicados por sus respectivos pesos ponderados (w<sub>i</sub>). La suma de estas ponderaciones fue comparada con los resultados obtenidos para los ríos menos contaminados,

permitiendo determinar la calidad del agua para cada zona y época de muestreo según la clasificación del Índice de Calidad del Agua (ICA).

**Tabla 5**

*Índice de calidad "ICA" de la calidad del agua en ríos de las zonas Shinahota-Chimoré Chapare- Cochabamba*

Épocas	Época de aguas altas (ELL2)				Época de estiaje (ES2)				Ríos no contaminados (RS)			
Mes de colecta	MARZO				JUNIO				ESTANDAR			
Estaciones	FP1	FP2	FP3	FP4	FP1	FP2	FP3	FP4	RS1	RS2	RS3	RS4
Temperatura (°C)	3,96	4,44	7,08	8,16	1,94	1,936	1,888	1,88	2,00	2,50	1,80	1,50
pH	3,00	3,64	4,76	5,12	3,03	2,96	6,27	3,82	3,00	3,00	5,40	8,15
Oxígeno disuelto (%)	10,62	10,80	5,47	7,03	16,48	15,94	3,86	7,16	13,32	9,72	10,26	17,10
DQO (mgL <sup>-1</sup> )	12,00	12,00	11,76	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	0,72	0,72	3,84	0,72
Nitratos (mgL <sup>-1</sup> )	10,89	10,89	10,89	10,89	10,97	10,98	11,00	10,96	11,00	10,95	10,90	10,90
Fosfatos (mgL <sup>-1</sup> )	6,77	4,21	5,85	8,42	9,48	9,61	6,57	8,62	8,03	10,54	7,37	11,00
Sólidos disueltos (mgL <sup>-1</sup> )	8,25	8,32	8,42	8,43	8,46	8,29	8,57	8,64	8,40	8,24	8,13	8,55
Coliforme Fecales (UFC*)	3,93	3,00	3,64	3,71	4,11	5,84	3,26	3,07	5,01	5,52	6,64	4,16
Índice "ICA"	59,44	57,32	57,88	63,78	66,50	67,57	53,43	56,17	51,48	51,18	54,34	62,08

Los valores calculados del ICA para el río en estudio se encuentran en el rango de 51 a 70, lo que corresponde a la categoría de calidad regular (color amarillo), en ambas épocas de muestreo y en las distintas estaciones analizadas. De manera similar, los ríos menos contaminados (RS) también se clasifican en la categoría regular (color amarillo) (Tabla 5). Esto sugiere que no se detectaron vertidos industriales significativos que puedan incrementar las variables de contaminación orgánica e influir de manera crítica en la calidad del agua del río en estudio.

No se observaron cambios significativos en el pH, que presentó valores entre 4,99 y 6,01, indicando una ligera acidez. Esto sugiere que las industrias no están desechando detergentes o soluciones de soda cáustica (NaOH), las cuales podrían elevar significativamente el pH y tornar las aguas básicas. De igual manera, los reactivos como el ácido cítrico en el agua que es considerado un ácido débil ( $pK_a = 4,76$ ), presenta pH entre 4 y 6 y el sulfito de sodio en el agua entre 7,5 a 8,0 a las concentraciones tan bajas que se utilizan no tienen incidencia en cambios de pH y la contaminación del agua.

En la Tabla 3 se evidencia que no hay una carga notable de sólidos disueltos atribuible a desechos industriales de la fábrica. Los valores determinados siguen un patrón estacional de variación, sin indicios de arrastre significativo de sólidos suspendidos por actividades industriales. Las concentraciones obtenidas en el agua de las estaciones y épocas de muestreo oscilaron en época de aguas altas entre 18,50-31,00 mgL<sup>-1</sup> y de estiaje oscila entre 33,00 – 63,00 mgL<sup>-1</sup>. De igual manera, para los ríos menos contaminados (RS) los valores fueron entre 11,00 – 46,00 mgL<sup>-1</sup>. Todos estos valores se encuentran por debajo de los máximos admisibles (1000,00 mgL<sup>-1</sup>), según la Ley del Medio Ambiente 1333.

Los niveles de oxígeno disuelto en el agua del río se encuentran en un rango adecuado para el desarrollo de organismos acuáticos. Durante la época de aguas altas, los valores oscilaron entre 44% y 81% de saturación, mientras que en la época de estiaje fluctuaron entre 31% y 86%. Los ríos menos contaminados mostraron valores entre 56% y 85%. Estos resultados indican condiciones óptimas para la vida acuática en las estaciones y épocas analizadas.

La DQO presentó concentraciones por debajo del valor máximo admisible ( $10 \text{ mg O}_2\text{L}^{-1}$ ), según lo estipulado por la Ley de Medio Ambiente 1333. Aunque se observó que los desechos orgánicos generados por la fábrica de palmito son vertidos cerca del terreno industrial que debería afectar a la estación FP3, sin embargo, la carga orgánica aún es absorbida por el ecosistema, manteniendo concentraciones bajas de DQO en el agua. Cabe destacar que en la estación FP4 se percibió un olor característico de materia orgánica en descomposición, lo que indica la presencia de biodegradación.

Las concentraciones de DQO son de cero o bajas debido a que los residuos de palmito son principalmente fibras, celulosa y lignina que pueden depositarse rápidamente en el fondo del río, y la DQO mide sobre todo la materia orgánica disuelta u oxidable en la muestra de agua no la que se sedimenta. La muestra en el río fue tomada de la columna de agua donde la mayor parte de los desechos fue mineralizada ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , nutrientes), que implica que las concentraciones de DQO sean bajas o indetectable. Por otra parte, en la región de Shinahota-Chapare se tiene una rápida degradación biológica debido a las altas temperaturas y la actividad microbiana que favorece este proceso. Cuando la DQO es cero puede deberse a que las concentraciones en el agua son menores al límite de detección ( $2 \text{ mgL}^{-1}$ ).

La principal fuente de contaminación biológica detectada en el río estudiado es la presencia de excretas humanas y animales. Según la Tabla 3., las concentraciones de coliformes fecales oscilaron entre 2700 y 5600 UFC/100 ml durante las épocas de aguas altas y estiaje, excediendo los límites permisibles de 1000 UFC/100 ml establecidos en el Reglamento del Medio Ambiente 1333 (1995). En contraste, las estaciones de muestreo en los ríos menos contaminados mostraron concentraciones por debajo de este umbral, lo que refuerza su utilidad como referencia de calidad.

#### **4. Discusión**

En la investigación realizada por Saravia (2017), sobre los ríos Teocinte y Acatán en Guatemala, se analizaron las mismas variables utilizadas en el presente estudio. Según su clasificación del Índice de Calidad del Agua (ICA), el río Teocinte obtuvo un valor de 45,26, ubicándose en el límite del rango de mala calidad, lo que indica una baja diversidad acuática y problemas significativos de contaminación. En contraste, el río Acatán presentó un ICA de 55,35, clasificándose en la categoría de calidad media. Estos valores son comparables a los obtenidos en los ríos estudiados en esta investigación, cuyos índices oscilaron entre 51 y 70, dentro de la categoría de calidad regular. Sin embargo, la calidad del agua podría mejorarse, particularmente en lo referente a la contaminación por coliformes fecales, mediante la delimitación y control del uso del agua en la zona de estudio.

Por su parte, Méndez-Zambrano (2020), evaluó la calidad del agua del río Copueno, ubicado en el cantón Morona, provincia de Morona Santiago, Ecuador. Los resultados del índice ICA clasificaron dos tramos del río: el primero como de calidad buena (71,68) y el segundo, afectado por descargas de aguas residuales, con una calidad regular (59,99). Estos valores son equivalentes a los obtenidos en el presente estudio, reafirmando la similitud en las condiciones de calidad del agua en regiones con características y usos similares.

En el mismo estudio, Méndez-Zambrano identificó que la principal fuente de contaminación en el río Copueno fue la presencia de coliformes fecales, con concentraciones de 2531 UFC/100 ml. Comparando estos datos con los valores obtenidos en el río de estudio, las concentraciones son significativamente más altas, alcanzando hasta 5600 UFC/100 ml en ciertas zonas de muestreo.

Un caso destacado es el del río Rímac, en Perú, donde en 1991 el recuento de coliformes fecales excedió los 100000 organismos/100 ml, desencadenando una epidemia de cólera (Reiff, 1993). Este caso evidencia la relevancia de la calidad microbiológica del agua y su impacto en la salud pública. Las enfermedades asociadas con este tipo de

contaminación incluyen cólera, fiebre tifoidea, ascariasis, amebiasis, giardiasis e infecciones por *E. coli* enteroinvasivas (Pérez y Espigares García, 1999; Álvarez Vieites, 2017).

Los resultados reportados por Robledo-Hernández (2023), indican que el Río Dulce ubicada en el nororiente del caribe de Guatemala, aplicando el índice de calidad ICA-NSF, con la finalidad de interpretar los resultados de una manera holística y poder discutirlos en ámbitos académicos, no solo a nivel local, sino internacional, menciona que los análisis microbiológicos como el *E. coli* y sólidos totales disueltos (TDS) son los parámetros críticos que presentaron mayores concentraciones en el agua de los ríos estudiados, sin embargo, los mismos no alteran significativamente el índice, el cual aún presentó valores entre 68,00 y 83,00, calificando de forma general el agua como de calidad buena. Similar a los resultados encontrados en el presente estudio que, si se observó contaminación microbiológica elevada por coliformes fecales, pero tampoco alteraron los valores de los índices en los ríos.

A nivel nacional se presentó un artículo evaluando la calidad del agua en la cuenca del lago Poopó - Uru Uru, aplicando el índice ICA, que explica que los resultados de las zonas agrícolas los efluentes de este lago tienen mejor calidad; que los ríos que tienen actividad minera presentaron menor calidad del agua (Quino & Quintanilla, 2013)

En el contexto de la región estudiada, entre Shinahota y Chimoré, el uso del agua de los ríos como bebederos para ganado y como lugar de recreación por parte de los comunarios agrava la contaminación. Las principales fuentes de contaminación identificadas son las excretas humanas y animales, lo que resulta especialmente preocupante, ya que estas aguas son frecuentemente utilizadas como recursos superficiales para el consumo humano. Aunque el índice ICA clasifica la calidad del agua como regular, lo cual no afecta significativamente a los organismos acuáticos, la contaminación microbiológica representa un riesgo epidemiológico para la comunidad circundante de Shinahota, que depende de estos recursos para agua potable.

Por lo tanto, es crucial implementar medidas de manejo adecuado del agua y desarrollar programas de educación ambiental en la zona para mitigar los riesgos de salud asociados a la contaminación por coliformes fecales y otras fuentes orgánicas.

## 5. Conclusiones

Los resultados indican que la calidad del agua en el río estudiado se clasifica como regular según los valores identificados del Índice de Calidad de Agua (ICA), tanto en las épocas de aguas altas y estiaje. Las concentraciones de DQO fueron bajas, y los porcentajes de oxígeno disuelto óptimos. Aunque se detectaron ciertas fuentes de contaminación, como coliformes fecales, no se evidenció un impacto significativo de vertidos industriales que pudiera alterar de manera crítica las características del agua.

## 6. Referencias bibliográficas

- Álvarez Vieites. Julio 2017. Memoria del trabajo de fin de grado. Universidad de Coruña. “Calidad Microbiológica del agua del río Mero”.
- Archivo meteorológico Shinahota según la fuente de datos utilizado por reanálisis climatológico ERA5 (1979-2021) producido por ECMWF. Meteoblue. <https://www.meteoblue.com>. Departamento de Cochabamba, Bolivia.
- Autoridad Nacional del Agua. (ANA), 2022. Resultados del monitoreo de calidad de agua superficial dentro de las acciones de vigilancia y control en las U.H.M. Coralaque, Medio Alto Tambo, Medio Tambo y Bajo Tambo. Informe Técnico N° 0031-2022-
- Brown R. M., McClelland N. I., Deninger R. A. and Tozer R. G. (1970). “A water quality index: do we dare?”, *Water & Sewage Works*, vol 117, no. 10, pp. 339-343., Gillette Pub. Co., Chicago, USA.
- Coello, J.R.; Ormaza, R.M.; Déley, Á.R.; Recalde, C.G.; Ríos, 2013, A.C.: “Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador”, *Revista del Instituto de Investigación de*

- la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, 16(31): 58-69, ISSN: 1561-0888.
- CUMAT, PDAC USAID Bolivia, 1989. Evaluación del impacto ambiental para el mantenimiento y mejoramiento de caminos vecinales del Chapare.
- DINAMA. Dirección Nacional De Medio Ambiente. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y medio Ambiente y Universidad de la Republica, Facultad de ciencias, Sección Limnología. Evaluación Ecológica de cursos de Agua y Biomonitorio. Informe final 2008.
- INE-Instituto Nacional de Estadística, Bolivia, 2001. Archivado el 27 de enero del 2016 en Wayback Machine.
- Informe de evaluación del proyecto “Incremento de la cobertura de agua potable y saneamiento básico para las familias campesinas del municipio Tiraque – Bolivia, 2009, ONGD española gestora y responsable de la subvención: MUSOL; ONG boliviana responsable de la ejecución del proyecto: CEDESCO; Financiador principal: AECID; Co-financiador: Agencia Cantonal. Municipal de Shinahota Cantonal de la provincia Tiraque.
- Ley 1333, N., 2013. 1333. Ley del Medio Ambiente. Gaceta Oficial de Bolivia, La Paz, Bolivia.
- Méndez-Zambrano I Patricio Vladimir; Jessica Paola Arcos-Logroño; Paola Arcos. 2020, determinación del índice de calidad del agua (NSF) del río Copueno ubicado en Cantón Morona. Dom. Cien., ISSN: 2477-8818 Vol. 6, núm. 2, Especial junio 2020, pp. 734-746
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2008). Plan Nacional de Saneamiento Básico 2008-2015. La Paz: MMAyA.
- Morales, M.; Vanegas, E.; García, N. 2014, “Uso de la tierra y calidad del agua superficial en la cuenca periurbana río Platanitos, Guatemala”, Revista Ingeniería Agrícola, 4(4): 19–23, ISSN: 2306-1545, 2227-8761.
- Pérez López, J.A.; Espigares García, M. (Ed.). (1999). Estudio sanitario del agua. Granada: Editorial Universidad de Granada.
- Quino Israel y ; Quintanilla Jorge, 2013. índice de calidad del agua en la cuenca del lago poopó -uru uru aplicando herramientas sig . Laboratorio de Hidroquímica, Instituto de Investigaciones Químicas, UMSA, C.P. 303, La Paz - Bolivia, Proyecto: "Gestión de Cuencas Áridas y Semiáridas con Influencia Minera – CAMINAR. Rev. Bol. Quim vol.30 no.1 La Paz 2013. versión On-line.
- Ramírez, R. 1992. Diagnostico biofísico cuencas de los ríos Ichilo y Chimore SENMA-BIO sub proyecto de protección de etnias y Recursos Naturales Renovables.
- Reiff, F. 1993. Impactos sobre la salud relacionados con la agricultura de riego en América Latina. in: FAO. prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines pp 353-365.
- Robledo-Hernández, José Adiel. 2023. Evaluación del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF en las microcuencas del Parque Nacional Río Dulce como herramienta en la gestión integral del manejo sustentable, Livingston, Izabal, Guatemala, Centroamérica. Revista Tecnología en Marcha vol.36 n.1 Cartago Jan./Mar. 2023 <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v36i1.6241> On-line versión ISSN 0379-3982 Print versión ISSN 0379-3982.
- Saravia Solares Pablo Cesar Aníbal, 2017, Determinación de los índices de calidad del agua ICA-NSF para consumo humano de los ríos Teocinte y Acatán, que abastecen la planta de tratamiento de agua Santa Luisa zona 16, Guatemala. Agua y Saneamiento & Ambiente.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), 2025. Bolentín de pronóstico hidrológico Cochabamba <https://senamhi.gob.bo>.
- SNET. Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Índice de calidad del agua general “ICA”, 2007.
- Standard Methods for the Examination of wáter and, wastewater (2012). 22th. Edition. AWWA, APHA, WEF. USA.
- UNICEF & OMS (2017): Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene: 2017 Update and SDG Baselines.
- Yañez Q Paola., Alberto Levy M., Mauricio Azero A. 2007. versión On-line ISSN 1683-0789. Rev. Acta Nova. v.3 n.4 Cochabamba
- Wills, M., & Irvine, K. (1996). Application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index in Cazenovia Creek, NY, Pilot Watershed Management Project. Middle States Geographer, 95–104.