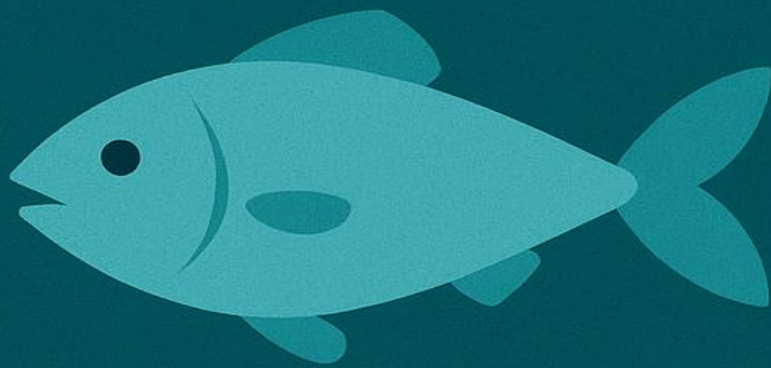


# INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN SISTEMAS LÓTICOS

UN ESTUDIO DE CASO EN LA CUENCA  
MEDIA DEL RÍO CESAR





# INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN SISTEMAS LOTICOS: UN ESTUDIO DE CASO EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO CESAR

COLECCIÓN RESULTADO DE INVESTIGACIÓN

**Primera Edición 2024 Vol. 1**

**Editorial EIDEC**

Sello Editorial EIDEC (978-958-53018)

NIT 900583173-1

**ISBN:** 978-628-96986-4-0

**Formato:** Digital PDF (Portable Document Format)

**DOI:** <http://doi.org/10.34893/w7735-5513-2682-f>

**Publicación:** Colombia

**Fecha Publicación:** 22/10/2025

## **Coordinación Editorial**

Escuela Internacional de Negocios y Desarrollo Empresarial de Colombia – EIDEC

Centro de Investigación Científica, Empresarial y Tecnológica de Colombia – CEINCET

Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES

## **Revisión y pares evaluadores**

Centro de Investigación Científica, Empresarial y Tecnológica de Colombia – CEINCET

Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES



### **Coordinadores editoriales**

Paula Alejandra Noguera Zambrano  
**Editorial EIDEC**

Dr. Cesar Augusto Silva Giraldo

**Centro de Investigación Científica, Empresarial y Tecnológica de Colombia – CEINCET – Colombia.**

Dr. David Andrés Suarez Suarez

**Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES – Colombia.**

El libro **INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN SISTEMAS LOTICOS: UN ESTUDIO DE CASO EN LA CUENCA MEDIA DEL RIO CESAR**, está publicado bajo la licencia de Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0) Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>). Esta licencia permite copiar, adaptar, redistribuir y reproducir el material en cualquier medio o formato, con fines no comerciales, dando crédito al autor y fuente original, proporcionando un enlace de la licencia de Creative Commons e indicando si se han realizado cambios.

**Licencia: CC BY-NC 4.0.**

**NOTA EDITORIAL:** Las opiniones y los contenidos publicados en el libro **INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN SISTEMAS LOTICOS: UN ESTUDIO DE CASO EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO CESAR**, son de responsabilidad exclusiva de los autores; así mismo, éstos se responsabilizarán de obtener el permiso correspondiente para incluir material publicado por parte de la **Editorial EIDEC**.

**INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN  
SISTEMAS LOTICOS: UN ESTUDIO DE CASO EN  
LA CUENCA MEDIA DEL RÍO CESAR**

**Pollution Indicators in Lotic Systems: A Case Study in  
the Middle Basin of the Cesar River**

**AUTORES**

**Jaime Luis Ariza Restrepo<sup>1</sup>**

**Yim James Rodríguez Díaz<sup>2</sup>**

**Hernando Carlos Oñate Barraza<sup>3</sup>**

Pares evaluadores: Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Docente Ocasional Tiempo Completo. Universidad Popular del Cesar.

<sup>2</sup> Docente de carrera. Universidad Popular del Cesar.

<sup>3</sup> Docente de carrera. Universidad Popular del Cesar.

<sup>4</sup> Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES. [www.rediees.org](http://www.rediees.org)

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO I. Una mirada de los indicadores de calidad y contaminación en los sistemas lóticos.....	15
Problemática a nivel mundial y en Colombia en los ríos.....	15
Indicadores de contaminación y calidad del agua.....	16
Clasificación de los Indicadores de Contaminación y calidad del agua .....	17
Estructura de los indicadores de contaminación y calidad del agua.....	19
Ventajas y desventajas de los indicadores de contaminación y calidad del agua.....	22
CAPITULO II. Tendencias de los indicadores de calidad y contaminación en los sistemas loticos.....	25
CAPÍTULO III. MATERIAL Y MÉTODOS.....	31
Etapa 1: la recopilación de datos en el terreno.....	31
Trabajo de campo. ....	31
Toma de muestras. ....	33
Trabajo de laboratorio. ....	33
Etapa 2: el análisis en el laboratorio. ....	33
Análisis de los resultados. ....	33
Etapa 3: la evaluación de los resultados obtenidos.....	36
Capitulo IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	37
Análisis de las variables fisicoquímicas y microbiológicas de la cuenca media del río cesar en temporada de lluvia y sequía. ....	37
Evaluación de la calidad del agua mediante los Índices de Contaminación (ICO) .....	41
Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO). ....	41
Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS). ....	44

Índice de Contaminación por pH.....	45
Índice de Contaminación por Temperatura. ....	45
Análisis de Componentes Principales (ACP) de las variables fisicoquímicas y microbiológicas en estudio de la cuenca media del río Cesar. ....	46
CONCLUSIONES.....	511
RECOMENDACIONES.....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	53

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de los indicadores de contaminación y calidad del agua. ....	17
<b>Tabla 2.</b> Clasificación de los Índices de Calidad según su uso.....	19
<b>Tabla 3.</b> fórmulas de agregación. ....	20
<b>Tabla 4.</b> Pasos principales de la estructura general de los ICA.....	21
<b>Tabla 5.</b> Ventajas y desventajas de los indicadores de contaminación y calidad del agua..	24
<b>Tabla 6.</b> Coordenadas de los puntos de muestreo.....	31
<b>Tabla 7.</b> Parámetros y métodos utilizados para determinar la calidad del agua. ....	33
<b>Tabla 8.</b> Significancia de los ICO.....	35
<b>Tabla 9.</b> Resultados de los diversos parámetros en estudio.....	37
<b>Tabla 10.</b> ICOMO en la cuenca media del río Cesar en temporada de lluvia. ....	41
<b>Tabla 11.</b> ICOMO en la cuenca media del río Cesar en temporada seca. ....	43
<b>Tabla 12.</b> ICOSUS en la cuenca media del río Cesar en temporada de lluvia y seca.....	44
<b>Tabla 13.</b> ICOpH en la cuenca media del río Cesar en temporada de lluvia y seca. ....	45
<b>Tabla 14.</b> ICOTEMP en la cuenca media del río Cesar en temporada de lluvia y seca. ....	46

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Puntos de muestreos.....	32
<b>Figura 2.</b> Componente 1 y 2 del ACP de las variables fisicoquímicas y microbiológicas de la cuenca media del río Cesar en temporada de lluvia.....	47
<b>Figura 3.</b> Componente 1 y 2 del ACP de las variables fisicoquímicas y microbiológicas de la cuenca media del río Cesar en temporada seca.....	49



# **INDICADORES DE CONTAMINACIÓN EN SISTEMAS LOTICOS: UN ESTUDIO DE CASO EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO CESAR**

## **Pollution Indicators in Lotic Systems: A Case Study in the Middle Basin of the Cesar Rive**

Jaime Luis Ariza Restrepo<sup>5</sup>, Yim James Rodríguez Díaz<sup>6</sup>, Hernando Carlos Oñate Barraza<sup>7</sup>

### **RESUMEN**

El análisis de los indicadores de contaminación en sistemas lóticos de la cuenca media del río Cesar permitió evaluar la calidad del agua y sus variaciones en temporadas de lluvia y sequía. Se aplicaron índices de contaminación (ICO), analizando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en seis estaciones de muestreo estratégicas.

Los resultados evidenciaron una mayor contaminación en la temporada seca debido a la disminución del caudal y el incremento de vertimientos domésticos e industriales. El Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO) presentó valores elevados en puntos cercanos a la PTAR Salguero, lo que confirma el impacto de los vertimientos en la calidad del agua. En contraste, el Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) indicó niveles bajos en la mayoría de las estaciones, salvo en la temporada de lluvias en el punto 6, donde la erosión y el arrastre de sedimentos influyeron en la calidad del agua. Los índices ICOTEMP e ICOpH no reflejaron variaciones significativas en temperatura y pH.

---

<sup>5</sup> Ingeniero Ambiental y Sanitario, Universidad Popular del Cesar, Magister en Ciencias Ambientales, Universidad Popular del Cesar – SUE CARIBE, Docente, I Universidad Popular del Cesar, correo electrónico: jaimelariza@unicesar.edu.co.

<sup>6</sup> Ingeniero del Medio Ambiente, Universidad de la Guajira, Doctor en Educación, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Docente, Universidad Popular del Cesar, correo electrónico: yimrodriguez@unicesar.edu.co .

<sup>7</sup> Docente, Universidad Popular del Cesar, correo electrónico: hernandoonate@unicesar.edu.co

El Análisis de Componentes Principales (ACP) confirmó la influencia de parámetros como la demanda bioquímica de oxígeno y los coliformes totales en la contaminación del río. Se concluye que los vertimientos de aguas residuales y las actividades humanas, como la ganadería y la deforestación, deterioran el ecosistema fluvial. Se recomienda fortalecer el monitoreo ambiental y optimizar las estrategias de tratamiento de aguas residuales para mejorar la sostenibilidad de la cuenca.

**PALABRAS CLAVES:** Índice de contaminación del agua, Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS), Índice de Contaminación por Temperatura (ICOTEMP), Índice de Contaminación por pH (ICOpH).

## **ABSTRACT**

The analysis of pollution indicators in lotic systems of the middle basin of the Cesar River allowed for assessing water quality and its variations during rainy and dry seasons. Pollution indices (ICO) were applied, analyzing physicochemical and microbiological parameters at six strategic sampling stations.

The results showed higher pollution levels during the dry season due to decreased water flow and increased domestic and industrial discharges. The Organic Matter Pollution Index (ICOMO) recorded high values near the Salguero Wastewater Treatment Plant, confirming the impact of wastewater discharges on water quality. In contrast, the Suspended Solids Pollution Index (ICOSUS) indicated low levels at most stations, except during the rainy season at point 6, where erosion and sediment transport affected water quality. The indices ICOTEMP and ICOpH did not show significant variations in temperature or pH.

The Principal Component Analysis (PCA) confirmed the influence of parameters such as biochemical oxygen demand and total coliforms in river pollution. It was concluded that wastewater discharges and human activities, such as livestock farming and deforestation, degrade the river ecosystem. Strengthening environmental monitoring and optimizing wastewater treatment strategies are recommended to improve the basin's sustainability.

**KEYWORDS:** Water Pollution Index, Organic Matter Pollution Index, Suspended Solids Pollution Index, Temperature Pollution Index, pH Pollution Index.

## INTRODUCCIÓN

El agua superficial es un recurso natural fundamental para preservar el equilibrio ambiental y garantizar la continuidad de las diversas formas de vida en el planeta, este elemento resulta esencial para la existencia de los organismos vivos y la salud humana, además de desempeñar un papel clave en procesos industriales y en la producción de alimentos, a medida que avanzan el crecimiento urbano, el desarrollo agrícola y la expansión industrial, la importancia del agua superficial se intensifica, consolidándose como un recurso indispensable para el progreso humano, en consecuencia, se convierte en la fuente primordial que satisface la mayoría de las demandas hídricas de la sociedad (Bernier y Bernier, 1996; Dooge, 2009; Ball, 2015; Ahmed, 2016 como se citó en Syeed, Hossain, Karim, Uddin, & Khan, 2023) .

En este contexto, la preocupación respecto al agua superficial está experimentando un notable crecimiento, convirtiéndose en un tema de gran sensibilidad a nivel mundial; esto se debe a su papel crucial en la supervivencia, debido a que actúa como un recurso indispensable y fundamental para la existencia de todas las formas de vida en nuestro planeta, abarcando tanto las necesidades domésticas como las industriales (Khadija, y otros, 2021; Ganguli, y otros, 2022).

Sin embargo, el desarrollo humano y sus actividades generan enormes impactos en el medio ambiente afectando ecosistemas a diversas escalas y superando los procesos naturales de regulación y a pesar de su reciente aparición su influencia ha sido tan profunda, es así, como la expansión de la civilización moderna ha intensificado la presencia de compuestos en el entorno, debido al uso de fertilizantes y pesticidas en la agricultura, la actividad minera, la producción industrial, la disposición de residuos domésticos e industriales, la combustión de carbón, entre otros (Karaouzas, Kapetanaki, Mentzafou, Kanellopoulos, & Skoulikidis, 2021). Como resultado directo, la calidad del agua se ve afectada negativamente por su intensa exposición a contaminantes y agentes de polución (Syeed, Hossain, Karim, Uddin, & Khan, 2023).

Esta problemática ha generado serias dificultades para las comunidades que habitan cerca de fuentes hídricas, así como para las poblaciones humanas cuya disponibilidad de agua en cantidad y calidad adecuadas se ha convertido en un desafío urgente; frente a esta situación, tanto a nivel nacional como internacional, se han desarrollado estudios que emplean parámetros fisicoquímicos y biológicos para evaluar la calidad del agua en distintos cuerpos hídricos, como parte de estos esfuerzos, se han estandarizado metodologías de análisis que permiten la caracterización de ríos, quebradas y lagos con mayor precisión, además, se han establecido índices de calidad y contaminación del agua, facilitando su monitoreo y la implementación de medidas orientadas a su conservación y sostenibilidad (Chavarro & Gélvez, 2016).

## **CAPÍTULO I. Una mirada de los indicadores de calidad y contaminación en los sistemas lóticos**

En este capítulo se presentan las bases teóricas sobre las que se construirá el libro, brindando al lector las herramientas conceptuales necesarias para adentrarse en los temas que se tratarán.

### **Problemática a nivel mundial y en Colombia en los ríos**

El agua superficial desempeña un papel fundamental en el sustento de diversos seres vivos y en la configuración del entorno ambiental, convirtiéndose indispensable para la salud humana, la producción de alimentos y la mayoría de los procesos industriales, siendo un recurso esencial para la sostenibilidad del desarrollo humano; sin embargo, la escasez de este recurso está aumentando rápidamente debido al crecimiento poblacional, al desarrollo socioeconómico y el uso excesivo, lo que conlleva a una mayor exposición a la contaminación; ya sea de origen humano o natural, generando esto, una grave contaminación del suelo, poniendo en riesgo la salud humana, facilitando la degradación ambiental y además, genera problemas de seguridad en los cultivos, sumado a que el agua superficial se encuentre bajo grave estrés y amenaza ambiental (Anyango, Bhowmick, y Bhattacharya, 2024; Syeed, et al., 2023; Pandit, Kumari, y Shitanshu, 2022; Uddin, Nash, y Olbert, 2021).

De esta manera, los ecosistemas se ven afectados por cambios en el flujo del agua debido a que por actividades humanas no reguladas como la minería, la agricultura, el turismo no controlado, el transporte fluvial, el dragado, entre otras., por otro lado, los desechos sólidos y líquidos como pesticidas, fertilizantes y herbicidas utilizados en la agricultura son arrastrados como aguas residuales en los ecosistemas naturales afectándose así la calidad física, química y biológica de las mismas; estas sustancias son cada vez más agresivas y difíciles de tratar por su composición química, lo que provoca efectos adversos en el medio ambiente y la biodiversidad del ecosistema acuático (Valverde-Solis, et al., 2015; Samboni, Carvajal, y Escobar, 2007).

En síntesis, el recurso hídrico es esencial para la vida situándose como una de las fuentes principales de agua para consumo, además de desempeñar un papel crucial para el desarrollo humano. Por tanto, es fundamental mantener un monitoreo constante que permita la evaluación de sus condiciones sanitarias generando estrategias de conservación del recurso (D'Ambrosio, et al., 2017). Así las cosas, el monitoreo de la calidad del agua es esencial para evaluar, predecir y controlar la contaminación, proporcionando evidencia fundamental para la planificación sostenible de los recursos hídricos; en tal sentido, se han evidenciado diversos estudios sobre el mantenimiento y la gestión de la calidad del agua dulce superficial en las últimas dos décadas, para conocer la calidad del fluido y comprender la salud general de los ecosistemas y el estado del agua superficial, mediante el uso de diversos modelos de índice de calidad (Syed, et al., 2023).

### **Indicadores de contaminación y calidad del agua**

Los índices de contaminación son utilizados en un enfoque matemático donde varios parámetros de calidad del agua se combinan para generar un solo valor que representa el estado general de salud de un cuerpo de agua, este método no solo facilita la interpretación de los datos, sino que también simplifica la comprensión de la variabilidad espacial y temporal de los parámetros de calidad del agua (Dash y Kalamdhad, 2021), esta metodología puede servir como base fundamental para desarrollar argumentos e indicadores sólidos, facilitando que las autoridades ambientales promuevan e implementen políticas y programas relacionados con este recurso natural renovable, determinando el nivel de contaminación de un cauce a través de un valor numérico que oscila entre 0 y 1, considerando el primero una contaminación muy baja o nula y la segunda una contaminación alta (Ariza-Restrepo, Rodríguez-Díaz, y Oñate-Barraza, 2023; Restrepo, 2015).

En ese sentido, a lo largo del tiempo se han desarrollado numerosos ICO con diversas aplicaciones, gracias a la amplia gama de datos procesados en su cálculo, lo que brinda una representación general del estado de calidad de los cuerpos hídricos; sin embargo, es importante recalcar que varios ICO pueden incluir un mayor número de variables debido a la flexibilidad en el número de parámetros considerados, en efecto, proporcionan una visión

integral de la calidad del agua de un cuerpo, evaluando y reflejando los efectos combinados de diversos parámetros de calidad, lo cual ayuda a identificar las variables con mayor influencia en las alteraciones; en otras palabras, permiten determinar la disponibilidad del agua analizada para su uso (Ariza-Restrepo, Rodríguez-Díaz, y Oñate-Barraza, 2023).

### **Clasificación de los Indicadores de Contaminación y calidad del agua**

Los indicadores de contaminación se agrupan en cuatro categorías principales las cuales se describen en la tabla que se muestra a continuación:

**Tabla 1.** *Clasificación de los indicadores de contaminación y calidad del agua.*

<b>Grupo</b>	<b>Categorías</b>	<b>Descripción</b>
<b>Indicadores en Tensores</b>	Indicadores en la fuente	Miden la calidad del agua directamente en puntos específicos de las fuentes
	Indicadores fuera de la fuente	Evalúan la calidad del agua en áreas afectadas por fuentes difusas
<b>Evaluación de Estrés</b>	Medidas simples	Indicadores que integran múltiples atributos y componentes individuales del agua
	Indicadores basados en criterios/estándares	Comparan las mediciones de calidad del agua con niveles estándar establecidos para su preservación y uso
	Índices multiparámetro	Basados en la opinión de expertos sobre diversos parámetros
	Índices multiparámetros empíricos	Utilizan análisis estadísticos de las mediciones de calidad del agua para su cálculo
<b>Indicadores para Lagos</b>	Indicadores específicos para lagos	Diseñados para evaluar la calidad del agua en sistemas lacustres específicos

	Indicadores de vida acuática	Miden la resistencia de especies acuáticas a diferentes niveles de contaminación
<b>Indicadores Diversos</b>	Indicadores del uso del agua	Analizan la adecuación del agua para usos como abastecimiento y agricultura
	Indicadores basados en percepción pública	Determinados por las opiniones del público y el uso percibido de los cuerpos de agua

Nota. Adaptado de Miranda, Mosquera, y Céspedes, (2016).

Como se puede apreciar la tabla 1 proporciona una visión estructurada y detallada de cómo se clasifican los indicadores de contaminación, en donde, cada grupo y categoría ofrece una forma diferente de evaluar la calidad del agua, desde mediciones directas y estándares normativos hasta perspectivas especializadas para ecosistemas específicos y percepciones públicas, esta clasificación permite una evaluación completa y adaptada a diversas necesidades, lo cual es crucial para la gestión efectiva de los recursos hídricos y la protección del medio ambiente. Por otro lado, es importante decir que el uso de estos indicadores es tan dinámico como el ambiente mismo dando una claridad científica de que puedan emerger otros tipos de indicadores que puedan ser utilizados por la diversificación de los ecosistemas y sus determinantes ambientales.

Además, según Vinot et al., (2013) como se citó por Dash y Kalamdhad, (2021) los índices de calidad del agua se clasifican en cuatro categorías según su uso, así como puede apreciarse en la tabla 2.

**Tabla 2.** *Clasificación de los Índices de Calidad según su uso.*

<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>
Visión holística del ICA	No se tiene en cuenta el uso final del agua y proporciona una perspectiva integral del Índice de Calidad del Agua (ICA).
Altamente específico	Depende del uso particular del agua, como consumo humano, riego, vertidos industriales y contaminación por metales pesados, entre otros.
Planificación y gestión	Utilizado principalmente en situaciones donde la gestión y planificación de los recursos hídricos son la prioridad.
Uso de herramientas matemáticas	Aplica modelos estadísticos y matemáticos para evaluar la salud general de un cuerpo de agua.

Nota. Adaptado de Dash y Kalamdhad, (2021).

Esta tabla muestra cómo se clasifican los Índices de Calidad del Agua (ICA) según el uso que se le da al recurso, debido a que algunos ofrecen una visión integral de la calidad sin enfocarse en un fin específico, mientras que otros se adaptan a necesidades concretas como el consumo humano, el riego o los vertidos industriales, permitiendo así un análisis más detallado. Además, se destaca la importancia de estos índices para apoyar la planificación y gestión eficiente del agua, asegurando su uso sostenible a largo plazo.

### **Estructura de los indicadores de contaminación y calidad del agua**

Los índices ICA e ICO consisten en un conjunto de parámetros que permiten evaluar el recurso hídrico según su uso específico y se presentan mediante números, rangos, descripciones verbales, símbolos o colores y de acuerdo con Ball y Church en 1980 como e citó por Samboni , Carvajal, y Escobar, (2007), el cálculo de estos índices se realiza a través de tres etapas consecutivas que organizan y simplifican su interpretación:

La selección de parámetros o variables puede incluir desde dos hasta varios parámetros, y su elección depende en gran medida del criterio del experto, además de la

información disponible, los criterios relacionados con el tiempo, la ubicación y su relevancia como estándar de calidad.

La determinación del subíndice para cada parámetro busca convertir de una escala con unidades a una sin unidades, lo que permite su integración de manera más sencilla.

La determinación del índice mediante la agregación de los subíndices implica que, una vez que se ha obtenido la información estandarizada de todos los parámetros elegidos, es necesario buscar la forma de consolidar la información final; la combinación de los subíndices da como resultado el índice de calidad del agua, el cual se puede calcular utilizando fórmulas matemáticas de agregación que generalmente se relacionan con una función promedio, tal como se muestra en tabla 3.

**Tabla 3.** fórmulas de agregación.

Método	Fórmula
Promedio Ponderado	$ICA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$
Promedio Aritmético Ponderado	$ICA = \sum_{i=1}^n q_i w_i$
Promedio Geométrico Ponderado	$ICA = \left( \prod_{i=1}^n q_i \right)^{w_i}$
Promedio Geométrico no Ponderado	$ICA = \left( \prod_{i=1}^n q_i \right)^{\frac{1}{n}}$
Subíndice Máximo	$ICA = \max(q_1, q_2, \dots, q_n)$
Subíndice Mínimo	$ICA = \min(q_1, q_2, \dots, q_n)$
Promedio Ponderado Modificado	$ICA = \frac{1}{100} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i w_i \right)^2$

---

**Promedio no Ponderado Modificado**

$$ICA = \frac{1}{100} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \right)^2$$

---

Nota. Tomado de Ball y Church en 1980 como e citó en Samboni , Carvajal, y Escobar, (2007).

Algo similar, fue presentado por Uddin, Nash, y Olbert, (2021) con una diferencia que para este autor y según Abbasi y Abbasi, 2012; Abrahão et al., 2007; Lumbet et al., 2011 y Sutadia et al., 2018 la estructura general de los modelos del ICA contiene cuatro pasos tales como los que se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4.** Pasos principales de la estructura general de los ICA.

<b>Paso</b>	<b>Descripción</b>
<b>1. Selección de los parámetros de calidad del agua</b>	Se escogen uno o más parámetros de calidad del agua que se considerarán en la evaluación.
<b>2. Generación de subíndices de parámetros</b>	Las concentraciones de los parámetros se convierten en subíndices sin unidades, facilitando su comparación.
<b>3. Asignación de los valores de ponderación</b>	Se asignan pesos a los parámetros, basándose en su importancia para la evaluación, de modo que los más relevantes tengan un mayor impacto en el resultado final.
<b>4. Cálculo del índice de calidad del agua</b>	Los subíndices de cada parámetro se combinan usando sus respectivos pesos para generar un único índice que represente la calidad general del agua. Además, se utiliza una escala de calificación para clasificar esta calidad de manera clara y comprensible.

---

Nota. Adaptado de Uddin, Nash, y Olbert, (2021).

La mayoría de los índices de contaminación y calidad del agua se calculan normalizando los parámetros según sus concentraciones y luego ponderándolos de acuerdo con su importancia en la percepción general de la calidad del agua, para ello se integran las ponderaciones a través de diversas funciones matemáticas, existiendo dos enfoques

principales: el primero es el producto ponderado, en el que los puntajes se multiplican por los pesos asignados y luego se multiplican entre sí para obtener el índice final, mientras que el segundo es la suma ponderada, donde cada puntaje se multiplica por su peso correspondiente y luego se suman estos productos para calcular el índice, si todos los pesos son iguales, el índice resultante se denomina valor aritmético no ponderado, y si los pesos son diferentes, se conoce como valor aritmético de la calidad del agua (Samboni , Carvajal , y Escobar, 2007; Torres, Cruz, y Patiño, 2009).

### **Ventajas y desventajas de los indicadores de contaminación y calidad del agua**

Los índices de calidad del agua son herramientas fundamentales para evaluar el estado de los cuerpos de agua, ya que condensan múltiples parámetros en un único valor y facilitan su interpretación, son útiles para evaluar cambios en la calidad del agua a lo largo del tiempo y entre diferentes cuerpos de agua, lo que ayuda a la administración de recursos hídricos y la implementación de medidas de conservación, además, pueden ajustarse a las regulaciones de cada país, mejorando su aplicabilidad y facilitando la divulgación de información sobre la calidad del agua tanto a autoridades como al público en general, en este sentido, presentan ventajas importantes, pues simplifican la información y transforman conjuntos de datos complejos en un número único que facilita el análisis, además, resultan útiles para la gestión y conservación de los recursos hídricos, lo que contribuye a una toma de decisiones más informada. Igualmente, permiten la comparación entre distintos cuerpos de agua a lo largo del tiempo, lo que favorece el monitoreo de cambios ambientales. Sumado a esto, los ICA son accesibles tanto para el público como para las autoridades, lo que facilita una comunicación más clara sobre el estado del agua y sus posibles variaciones.

No obstante, también presentan ciertas limitaciones, ya que al simplificar los datos pueden perder detalles sobre la interacción entre distintas variables, lo que afecta la comprensión profunda de los fenómenos, asimismo, su efectividad depende de la metodología utilizada, lo que puede generar ambigüedad y rigidez en los resultados, de igual manera, en algunos ecosistemas, estos índices pueden no reflejar adecuadamente la realidad ambiental, debido a que dichos entornos presentan características particulares que no siempre

son consideradas en los índices generales, la dependencia de la metodología de cálculo puede generar variabilidad en los resultados, y algunos índices pueden no ser adecuados para ciertos ecosistemas específicos, afectando su precisión, otro aspecto relevante que se debe tomar en cuenta es la frecuencia de muestreo, dado que los ICA basados en parámetros fisicoquímicos solo capturan condiciones puntuales del agua, lo que implica la necesidad de realizar mediciones periódicas para obtener una visión representativa (Syeed, et al., 2023; Calvo-Brenes, 2019; Pérez-Castillo y Rodríguez, 2008).

Otro aspecto crucial para tener en cuenta es la frecuencia de muestreo, debido a que los ICA basados en parámetros fisicoquímicos solo capturan condiciones puntuales del agua, lo que implica la necesidad de realizar mediciones periódicas para obtener una visión representativa, a esto se suma la posible subjetividad en la selección y ponderación de parámetros, así como la pérdida de información causada por modelos de agregación rígidos, sin embargo, existen oportunidades para mejorar estos índices mediante técnicas de inteligencia artificial y análisis estadísticos avanzados que optimicen la selección de parámetros y reduzcan la subjetividad. Asimismo, el desarrollo de protocolos estandarizados y la creación de redes de monitoreo adaptadas a condiciones locales pueden fortalecer la precisión y aplicabilidad de estos índices (Fortes, Barrocas, y Kligerman, 2023).

Con el fin de visualizar de manera más estructurada las ventajas y desventajas mencionadas, la tabla 5 presenta una síntesis que facilita la comparación y el análisis de estos aspectos, a través de esta representación, se puede profundizar en los puntos clave sin perder de vista el contexto general del uso de los índices de calidad y contaminación del agua.

**Tabla 5.** Ventajas y desventajas de los indicadores de contaminación y calidad del agua.

<b>Aspecto</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Síntesis de información</b>	Permiten resumir múltiples parámetros en un único valor, facilitando la interpretación de la calidad del agua.	La simplificación de datos puede ocasionar la pérdida de información detallada sobre la interacción entre los parámetros individuales.
<b>Comparación y monitoreo</b>	Son útiles para evaluar cambios en la calidad del agua a lo largo del tiempo y entre diferentes cuerpos de agua.	Dependencia de la metodología de cálculo puede generar variabilidad en los resultados.
<b>Gestión y toma de decisiones</b>	Ayudan a la administración de recursos hídricos y la implementación de medidas de conservación.	Algunos índices pueden no ser adecuados para ciertos ecosistemas específicos, afectando su precisión.
<b>Accesibilidad y comunicación</b>	Facilitan la divulgación de información sobre la calidad del agua tanto a autoridades como al público en general.	Los resultados pueden ser rígidos y no reflejar ciertas variaciones ambientales relevantes.
<b>Adaptación normativa</b>	Pueden ajustarse a las regulaciones de cada país, mejorando su aplicabilidad.	La falta de información detallada en algunas normativas puede afectar la representatividad del índice en ciertos contextos.
<b>Frecuencia de muestreo</b>	Proporcionan una herramienta rápida y sencilla para evaluar condiciones del agua en distintos momentos.	Requieren una frecuencia de muestreo adecuada para reflejar condiciones reales y evitar interpretaciones parciales.

Nota. Adaptado de Pérez-Castillo & Rodríguez, (2008); Calvo-Brenes, (2019).

## **CAPITULO II. Tendencias de los indicadores de calidad y contaminación en los sistemas loticos**

A continuación, se exponen investigaciones recientes que respaldan el contenido del libro y se centran en los indicadores de calidad y contaminación del agua superficial.

Ariza, Rodriguez, y Oñate, (2023) llevaron a cabo una revisión bibliográfica de los índices de calidad y contaminación, la cual tuvo como objetivo realizar un análisis documental de los índices de calidad y contaminación del agua de los últimos 10 años mediante la búsqueda, síntesis, clasificación y comparación de publicaciones previas en la plataforma científica ScienceDirect, plataforma de literatura principal revisada por pares de Elsevier, para esto, se llevó a cabo una revisión bibliográfica utilizando palabras clave en inglés, combinando 'water quality index' y 'pollution index' con el conector lógico 'and', lo que permitió identificar 55,849 artículos relacionados con el tema de búsqueda desde 2008 hasta 2021, esta búsqueda fue basada en los fundamentos propuestos por Vera en el año 2016.

Encontrando que los Índices de Calidad (ICA) y contaminación del agua siguen siendo muy usados como indicadores que evalúan las condiciones ambientales de las fuentes hídricas tanto subterráneas como superficial, mostrando una alta tendencia de uso en los últimos años, sobre todo en países como India, china, Brasil, Indonesia y Nigeria, destacando que los ICA más utilizados son el de National Sanitation Foundation (NSF) desarrollado por Brown en el año 1965, utilizando el método Delphi, siendo este el índice más utilizado a nivel mundial, Así también se encontró el ICA Canadiense o por sus sigla en inglés (CCME) desarrollado por el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente en el año 1997, teniendo como objetivo ser utilizado por varias agencias en muchos países. Otro ICA muy utilizado sobre todo en Brasil es CETESB quien fue adaptado del NFS por una empresa ambiental del Estado de Sao Paulo, este tuvo como objetivo evaluar la calidad del agua cruda que es utilizada para suministro público.

Por otro lado, se resalta que los ICO son una herramienta sencilla y accesible para gestionar la calidad del agua, cruciales para evaluar la contaminación de esta. En este contexto, podrían servir como referencia fundamental para desarrollar argumentos e

indicadores sólidos que ayuden a las autoridades ambientales a formular e implementar políticas y programas relacionados con este recurso natural renovable. Y que de igual manera que los ICA, se han ido desarrollando nuevos índices de contaminación como los desarrollados por Hossain y Patra en el año 2020, en este, se adopta un enfoque integral que combina todos los parámetros de entrada en un solo valor para clasificar la calidad del agua. La interdependencia de estos parámetros es crucial para determinar la calidad, por lo que cualquier leve variación en las variables de entrada puede provocar un cambio en el indicador. Destacando que, desde su creación, los ICO e ICA han sido ampliamente utilizados en investigaciones globales, convirtiéndose en herramientas valiosas para la gestión efectiva de fuentes de agua subterráneas y superficiales, y en términos generales, los resultados obtenidos al calcular estos índices permiten determinar la idoneidad del uso de este recurso natural.

Yan, Shen, y Zhou, (2022) en su investigación titulada “Indices and models of surface water quality assessment: Review and perspectives” afirmaron que se han desarrollado múltiples tecnologías para monitorear, evaluar y mejorar la calidad del agua superficial, ya que este recurso es vital para actividades humanas como la agricultura, la ganadería y la industria. Este estudio se enfocó en tres tipos de índices para evaluar la calidad del agua: el Índice de Calidad del Agua o por sus siglas en inglés (WQI), el Índice de Estado Trófico (TSI) y el Índice de Metales Pesados (HMI). A partir de estos índices, se analizaron y compararon modelos de evaluación utilizando Sistemas Expertos (ES) y Aprendizaje Automático (ML), explorando tanto el estado actual como las perspectivas futuras en la gestión del agua. El Índice de Calidad del Agua (ICA) se introdujo en 1965, basándose en factores físicos y químicos para evaluar el estado del recurso, pero con el tiempo, expertos y científicos han ajustado y ampliado este concepto incorporando nuevos elementos en su análisis a medida que la tecnología avanza, lo que ha permitido que las ecuaciones utilizadas para calcular el ICA también evolucionen, logrando así mayor precisión en la evaluación de la calidad del agua.

Los resultados mostraron que los WQI, que combinan varios parámetros, son útiles para clasificar la calidad del agua superficial; los TSI, basados en nutrientes que favorecen

algas y bacterias, ayudan a evaluar la eutrofización en lagos y embalses; y los HMI permiten identificar riesgos para la salud humana y analizar la relación entre fuentes de metales pesados. Con el apoyo de ES y ML, estos modelos no solo facilitan la generación de índices de manera eficiente, sino que también permiten predecir el estado del agua usando macrodatos de nuevas tecnologías. El estudio propone un sistema de gestión de próxima generación que, mediante el monitoreo dinámico, mejora la precisión en la evaluación de la calidad del agua y promueve una gestión más eficiente del recurso hídrico.

Karaouzas, et, al., (2021) en su investigación titulada “Heavy metal contamination status in Greek surface waters: A review with application and evaluation of pollution indices” encontraron que la contaminación de los ecosistemas acuáticos por metales pesados es una preocupación global debido a su toxicidad y los daños que puede causar a los organismos que habitan en estos ambientes. Es así, como en Grecia, en las últimas décadas han aumentado los estudios sobre la presencia de metales en cuerpos de agua dulce, muchos de ellos se han llevado a cabo de forma aislada y limitada geográficamente, lo que deja pendiente una evaluación completa del estado de contaminación en sus aguas superficiales. Por lo anterior, esta revisión recopiló y analizó información publicada entre los años 1999 y 2019, abarcando 68 cuerpos de agua, con el propósito de medir los niveles de contaminación por metales pesados. Para ello, se aplicaron varios índices, como el Índice de Contaminación por Metales Pesados, el Índice de Geoacumulación y el Índice de Contaminación Moderada, buscando evaluar la calidad del agua.

Los resultados mostraron que, en general, las concentraciones de metales en las muestras de agua se encontraban por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental o (EQS) por sus siglas en inglés, permitiendo clasificar la mayoría de los cuerpos de agua como de buena calidad. Sin embargo, se detectaron niveles preocupantes de metales en los sedimentos, superando las Pautas de Calidad de Sedimentos (SQG) en la mayoría de los lugares analizados. Entre los cuerpos de agua más afectados se identificaron los ríos Axios, Evros, Louros, Gallikos, Greveniotikos, Palea Kavala, Kompsatos, Alfeios y Evrotas, junto con los lagos Pamvotis, Doirani y Koumoundourou, los cuales presentaron contaminación moderada o alta.

Hasta ahora, los índices de contaminación utilizados a nivel mundial para las aguas superficiales se enfocan principalmente en el agua potable, lo que hace evidente la necesidad de crear herramientas que evalúen también las consecuencias ecológicas de esta contaminación y el estado de los ecosistemas acuáticos. Además, se subraya la importancia de establecer directrices específicas para la contaminación de sedimentos, tanto a nivel regional como europeo, con el fin de gestionar de manera más efectiva la salud de los cuerpos de agua y su biodiversidad.

Uddin, Nash y Olbert (2021) realizaron una revisión detallada sobre los modelos de índice de calidad del agua (ICA) y su aplicación en la evaluación de aguas superficiales. Identificaron que el ICA se ha convertido en una herramienta clave para simplificar el análisis de datos complejos, transformando grandes cantidades de información sobre la calidad del agua en un único valor o índice. Desde su creación en los años 60, este modelo ha ganado popularidad por su estructura flexible y facilidad de uso, siendo aplicado tanto en aguas superficiales como subterráneas según las necesidades locales. El proceso que siguen estos modelos incluye cuatro pasos fundamentales: la selección de los parámetros de calidad, la creación de subíndices para cada uno, la asignación de ponderaciones y la combinación de subíndices para obtener un índice general.

Estos modelos se han utilizado ampliamente en ecosistemas como ríos, lagos, embalses y estuarios, aunque presentan ciertas limitaciones. Uno de los principales desafíos es que suelen desarrollarse en función de criterios específicos para una región, lo que dificulta su aplicación universal. Además, al resumir grandes volúmenes de datos en un solo índice, puede generarse cierta incertidumbre. El estudio también compara los modelos más utilizados, analizando sus estructuras y aplicaciones, así como los métodos para generar subíndices y ponderaciones. Los autores subrayan la importancia de identificar las fuentes de incertidumbre y optimizar estos modelos para mejorar su precisión, con el fin de hacerlos más efectivos en la gestión de la calidad del agua.

Valverde-Solis, et al., (2015) desarrollaron un estudio donde analizaron la calidad de diversas corrientes de agua superficial utilizando índices de contaminación en Bahía Solano,

destacando que numerosos investigadores evalúan la calidad del agua utilizando tanto parámetros fisicoquímicos como biológicos, y desde el año 2002, las entidades que hacen parte del Sistema de Información Ambiental Colombiano han empleado los índices creados por Ramírez et al. (1997). En este marco, la Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (CODECHOCÓ) monitorea las fuentes de agua bajo su jurisdicción, enfocándose en la evaluación y cuantificación de las aguas superficiales de Cacique, Jella, Placer, Cupica frente a la Playa, Mecana y Mecana frente a la Playa, las cuales convergen en ecosistemas estratégicos cruciales para el desarrollo social y económico del municipio de Bahía Solano.

Por lo tanto, el propósito de esta investigación fue esclarecer la calidad del agua vinculada a los ecosistemas fundamentales presentes en el municipio de Bahía Solano, la cual hasta ahora es desconocida; sin embargo, se han detectado cambios negativos en las fuentes hídricas mencionadas indicando un deterioro progresivo de las aguas superficiales, por esta razón, el estudio tuvo como objetivo determinar el nivel de contaminación de los ríos y quebradas que desembocan en los ecosistemas marino-costeros estratégicos dentro de la jurisdicción del municipio de Bahía Solano, Chocó, Colombia.

Para llevar a cabo esto, se utilizó la metodología desarrollada por Ramírez et al. (1997), quienes emplearon indicadores de contaminación para evaluar las aguas superficiales en Colombia. El proceso de muestreo se realizó siguiendo los protocolos de seguimiento y monitoreo del agua sugeridos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), y se establecieron seis puntos de muestreo a lo largo del trayecto, seleccionando áreas clave donde se produce el intercambio entre aguas dulces y ecosistemas estratégicos. En cada una de estas estaciones, se recolectaron muestras en frascos de plástico para análisis fisicoquímicos y en frascos de vidrio para análisis microbiológicos. Posteriormente, los puntos de muestreo fueron georreferenciados utilizando GPS, y se calcularon diversos Índices de Contaminación, tales como el Índice de Contaminación (ICO), el Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI), el Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO) y el Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS).

Como resultado, se encontró que el agua está afectada por una considerable actividad humana y presenta altos niveles de contaminación, con fluctuaciones en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que sugieren alteraciones locales en áreas específicas de los sistemas acuáticos. Se identificó que la contaminación podría ser causada por la liberación de aguas residuales, acumulación de residuos sólidos y vertidos incontrolados de hidrocarburos, destacando que las actividades humanas son las principales responsables de este impacto. Esto resalta la necesidad de desarrollar estrategias para mitigar la contaminación del recurso hídrico, dada la importancia esencial del agua para la vida y la sostenibilidad de los ecosistemas estratégicos. Además, se concluyó que la metodología propuesta para evaluar los indicadores de contaminación y calidad del agua es simple y fácil de aplicar, recomendando que, para fuentes altamente contaminadas, se establezcan restricciones en su uso.

### CAPÍTULO III. MATERIAL Y MÉTODOS

Con el propósito de llevar a cabo esta investigación y alcanzar los objetivos predefinidos, se estructuró metodológicamente en tres etapas fundamentales:

#### **Etapa 1: la recopilación de datos en el terreno**

##### *Trabajo de campo.*

En esta etapa se eligieron y ubicaron seis puntos o estaciones de muestreo: dos de estas, estuvieron ubicados en la intercuenca baja del río Guatapurí y cuatro a lo largo de la cuenca media del río Cesar. Posteriormente, se procedió a la recolección de muestras de agua, las cuales fueron utilizadas para analizar diversas variables fisicoquímicas (temperatura, pH, oxígeno disuelto, sólidos en suspensión, porcentaje de saturación de oxígeno, demanda biológica de oxígeno) y microbiológicas (coliformes totales).

En la elección de los puntos de muestreo, se consideraron diversos factores, entre ellos, la accesibilidad y la seguridad de los lugares seleccionados para facilitar la ejecución eficiente de la tarea. Además, se tuvo en cuenta el uso del suelo en la cuenca media y se buscó que los puntos de muestreo proporcionaran una evaluación representativa a lo largo de dicha cuenca. En la tabla 1 se muestran la lista y la ubicación de las estaciones o puntos de muestreo, indicando sus coordenadas geográficas correspondientes.

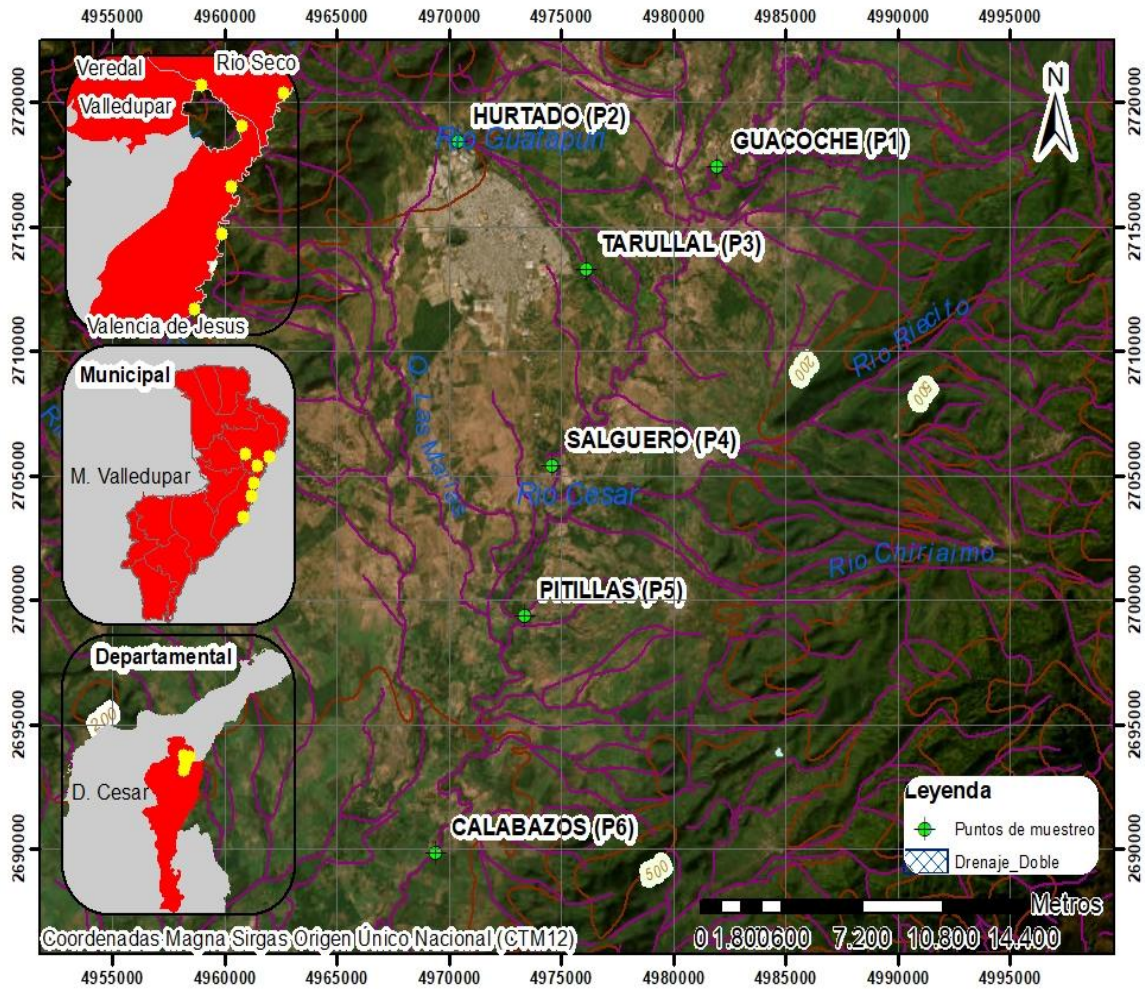
**Tabla 6.** *Coordenadas de los puntos de muestreo.*

<b>PUNTOS DE MUESTREO</b>	<b>COORDENADAS</b>
GUACOCHÉ (P1)	LAT. 10°29'31.93" N
	LON. 73°9'53.66" W
HURTADO (P2)	LAT. 10°30'4.98" N
	LON. 73°16'13.23" W
TARULLAL (P3)	LAT. 10°27'16.87" N
	LON. 73°13'5.05" W
SALGUERO (P4)	LAT. 10°23'0.71" N
	LON. 73°13'55.59" W

PITILLAS (P5)	LAT. 10°19'44,74" N
	LON. 73°14'35,38" W
CALABAZOS (P6)	LAT. 10°14'33,29" N
	LON. 73°16'45,98" W

Nota. Autores, (2025).

Figura 1. Puntos de muestreos.



Nota. Tomado de Qgis, (2025).

### ***Toma de muestras.***

Se realizaron muestreos puntuales para analizar la calidad del agua desde una perspectiva física, química y microbiológica. Estos tipos de muestreo resultan apropiados para caracterizar la calidad del agua en momentos específicos, ya sea con fines de vigilancia o para establecer valores de referencia para parámetros de control, (Instituto Nacional de Salud Subdirección Red Nacional de Laboratorios, 2011), siguiendo las pautas del manual del IDEAM (2020) para la toma, conservación y transporte de muestras de agua potable destinadas a análisis de laboratorio, se recolectaron muestras directamente de los ríos Guatapurí y Cesar en los puntos de muestreo designados. Se emplearon recipientes plásticos y vidrios para la recolección, realizando muestreos en las dos temporadas representativa de la región (seca y de lluvias).

**Tabla 7.** *Parámetros y métodos utilizados para determinar la calidad del agua.*

<b>Variable</b>	<b>Sitio</b>	<b>Método</b>
<b>Temperatura</b>	In situ	Electrométrico
<b>pH</b>	In situ	SM 4500H+B – Electrométrico
<b>Oxígeno Disuelto</b>	In situ	4500-O B - Electrométrico
<b>Porcentaje de Saturación de Oxígeno</b>	In situ	Electrométrico – Medidor de Oxígeno
<b>Sólidos Suspendidos</b>	Laboratorio de IAS	SM 2540 D
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Laboratorio de IAS	SM 5210 B y SM 4500-OG - Incubación a 5 días
<b>Coliformes totales</b>	Laboratorio de microbiología	SM 9223B

Nota. Autores, (2025).

### ***Trabajo de laboratorio.***

Las muestras recopiladas se emplearon para evaluar la calidad del agua mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. En los sitios de muestreo, se efectuaron mediciones en el lugar de diversas variables, como pH, oxígeno disuelto (OD), porcentaje de saturación de oxígeno utilizando equipos multiparámetros, siguiendo las pautas establecidas en el Standard Methods (APHA, 2022), posteriormente, las muestras fueron

preservadas y trasladadas al laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria (IAS) de la Universidad Popular del Cesar en la ciudad de Valledupar, donde se llevaron a cabo análisis detallados de diversas variables físico-químicas y microbiológicas, como se describe en la tabla 3.

## **Etapa 2: el análisis en el laboratorio.**

### ***Análisis de los resultados.***

Tras obtener los resultados de laboratorio, se procedió con la etapa de análisis de datos, la cual abarcó el cálculo de los Índices de Contaminación. En el cálculo de los ICO, se siguió la metodología desarrollada por Ramírez et al. (1997) específicamente adaptada para Colombia, esta metodología incorporó la consideración de parámetros clave como pH, DBO<sub>5</sub>, porcentaje de saturación de oxígeno, oxígeno disuelto, temperatura, sólidos suspendidos y coliformes totales, elementos esenciales para la determinación de los distintos índices de contaminación que se detallan a continuación:

### **Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)**

Este indicador se compone de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), los Coliformes Totales y el Porcentaje de Saturación de Oxígeno, y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{ICOMO} = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{Coliformes} + I_{Oxigeno \%})$$

Donde:

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,70 \text{Log}_{10} \text{DBO (mg/L)}$$

$$\text{DBO} > 30 \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 1$$

$$\text{DBO} < 2 \left( \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = 0$$

$$I_{Coliformes \text{ Totales}} = -1,44 + 0,56 \text{Log}_{10} \text{Col.Tot. (NMP/100ml)}$$

$$\text{Coliformes Totales} > 20.000 \text{ (NMP/100ml)} = 1$$

$$\text{Coliformes Totales} < 500 \text{ (NMP/100ml)} = 0$$

$$I_{\text{Oxígeno \%}} = 1 - 0,01\text{Oxígeno\%}$$

Oxígenos (%) mayores a 100% tiene un índice de oxígeno de 0

### **Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS)**

La determinación de este índice se realiza a través de la medición de la concentración de sólidos suspendidos de la siguiente manera:

$$\text{ICOSUS} = -0,02 + 0,003\text{Sólidos Suspendidos (mg/L)}$$

Sólidos Suspendidos > a 340 mg/L tienen un ICOSUS = 1

Sólidos Suspendidos < a 10 mg/L tienen un ICOSUS = 0

### **Índice de contaminación por Temperatura (ICOTEMP)**

Este indicador se centra de manera implícita en la evaluación de vertidos, por lo tanto, se aplicó específicamente a los puntos de muestreo donde se realizan vertimientos, como ocurre en el caso de la PTAR SALGUERO, se adoptó la metodología propuesta por (Restrepo y Cardeñosa, 1999) y su ecuación asociada es la siguiente:

$$\text{ICOTEMP} = -0,49 + 1,27 \text{ Log (Temp. Vertimiento - Temp. Curso Receptor)}$$

Si la diferencia de Temperatura es menor a 2,5 °C (275,5 °K), ICOTEMP = 0.

Si la diferencia de Temperatura es mayor a 15 °C (288,5 °K), ICOTEMP = 1.

### **Índice de Contaminación por pH (ICOpH)**

El cálculo de este índice se realiza mediante la siguiente fórmula, según lo propuesto por (Restrepo y Cardeñosa, 1999):

$$\text{ICOpH} = \frac{e^{-31,08+3,45pH}}{1 + e^{-31,08+3,45pH}}$$

Para poder determinar la calidad del cuerpo de agua se emplea la tabla 8.

**Tabla 8.** *Significancia de los ICO.*

ICO	Calificación de la calidad del agua	Color
0 – 0,2	Ninguna	Azul
>0,2 – 0,4	Baja	Verde
>0,4 – 0,6	Media	Amarillo
>0,6 – 0,8	Alta	Naranja
>0,8 - 1	Muy Alta	Rojo

*Nota.* En la tabla se presentan los rangos para calificar la calidad del agua por los ICO. Tomado de Ramírez et al. (1999).

### **Etapa 3: la evaluación de los resultados obtenidos**

Después de obtener los índices que evalúan la calidad y contaminación del agua, se llevó a cabo un análisis de la relación entre estos resultados y las actividades económicas, industriales y agrícolas que se desarrollan en la zona de estudio con el propósito de identificar la influencia de dichas actividades en la calidad de los cuerpos de agua receptores; para esto, se empleó el software RSTUDIO aplicándose el coeficiente de correlación de Pearson y un examen de la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos mediante un análisis de varianza, seguido de una comparación de medias utilizando la prueba de Duncan, se consideraron como significativas las diferencias con un nivel de significancia de  $P < 0,05$  y un intervalo de confianza del 95%.

## Capítulo IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### Análisis de las variables fisicoquímicas y microbiológicas de la cuenca media del río cesar en temporada de lluvia y sequía.

Como se mencionó anteriormente se realizaron dos muestreos tanto en temporada de lluvia como seca, presentando los resultados que se muestran en la tabla 4.

**Tabla 9.** Resultados de los diversos parámetros en estudio.

PARÁMETROS	TEMPORADA DE LLUVIA						TEMPORADA DE SEQUÍA						
	P2	P3	P1	P4	P5	P6	P2	P3	P1	P4	P5	P6	
TEMPERATUR A (°C)	MÁXIMO	22,6	23,4	27,5	26	29,1	30,7	23,4	24, 1	26,1	30,8	30,5	34,3
	PROMEDI O	22,2	22,8	27,3	27,0	27,5	28,4	23,1	23, 6	25,8	30,1	30,3	33,2
	MÍNIMO	21,7	22,1	27	27,9	25,9	26,1	22,8	23	25,5	29,4	30,1	32,1
OXÍGENO DISUELTO (mg/l de O <sub>2</sub> )	MÁXIMO	7,4	6,5	7	5,5	4,6	4,7	6,3	9,3	5,7	5,6	4,6	12,1
	PROMEDI O	7,1	5,7	6,3	4,8	4,3	4,0	4,2	7,7	5,3	3,8	4,0	10,0
	MÍNIMO	6,8	4,9	5,6	4,1	4	3,2	2,1	6	4,9	1,9	3,4	7,9
PORCENTAJE DE SATURACIÓN (% O <sub>2</sub> )	MÁXIMO	88	83	75	64	58	61	77	113	69	76	100	182
	PROMEDI O	82	71,5	73,5	59	54	52	51	93, 0	64,5	50	81	147
	MÍNIMO	76	60	72	54	49	43	24	73	60	24	61	112
pH	MÁXIMO	7,22	6,5	7,4	7,48	7,63	7,51	7,81	6,3 4	7,58	7,29	7,43	8,04
	PROMEDI O	6,7	6,44	7,11	7,44	7,61	7,41	7,6	6,0 1	7,44	7,18	7,35	7,85
	MÍNIMO	6,17	6,38	6,82	7,4	7,58	7,3	7,38	5,6 7	7,29	7,1	7,26	7,66
COLIFORMES TOTALES (NMP/100 ml)	MÁXIMO	1600 0	350 0	1200	1600 0	1600 0	590	110 0	700	2400	3500 0	2400 0	7900
	PROMEDI O	8850	240 0	845	9600	8350	460	780	595	1365	2100 0	1750 0	6400
	MÍNIMO	1700	130 0	490	3200	700	330	460	490	330	7000	1100 0	4900
DBO <sub>5</sub>	MÁXIMO	8	6	3	25	16	8	42	85	85	185	110	52

<b>(mg/l de O<sub>2</sub>)</b>	PROMEDI O	6	4	2,5	18,5	10	5,5	30	48	53,5	110,0	69	33,0
	MÍNIMO	4	2	2	12	4	3	18	11	22	35	28	14
<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES</b>	MÁXIMO	16,67	20	76,6 7	86,67	140	443,3 3	12	9,3 3	16,1 3	45,33	36	14,6 7
	PROMEDI O	10,50	12	57,5 0	66,84	80	233	7,27	7	16,0 7	27,67	32	13
<b>(mg/l)</b>	MÍNIMO	4,33	4	38,3 3	47	20	21,67	2,53	4	16	10	28	10,8

Como se puede apreciar la temperatura promedio en la temporada de lluvia varía de 22,2 °C a 28,4°C registrando este último valor en el punto 6, influyendo está en una variedad de procesos, abarcando aspectos físicos como la solubilidad de gases como el oxígeno y sales, aspectos químicos como el equilibrio de ionización, la concentración de amoníaco, el pH y las velocidades de reacción, así como también, aspectos biológicos como la tasa metabólica y la descomposición de materia orgánica, esta influencia se traduce en la modificación del impacto de los agentes contaminantes, cabe destacar que los resultados obtenidos corresponden a una condición normal (Pérez-Castillo y Rodríguez, 2008).

Por otro lado, en la temporada seca la fluctuación de temperatura promedio se encontró los 23,1 °C y 33,2 °C, como se evidencio anteriormente el mayor valor registrado se presentó en el punto 6 y, además, durante esta temporada, tanto las temperaturas como la radiación solar fueron superiores en comparación con la temporada de lluvias, este fenómeno afecta este parámetro, ya que el tiempo atmosférico, identificado como el factor principal que regula la temperatura de la corriente, tiene una influencia significativa (Muñoz, et. al., 2015). En consecuencia, este factor resulta crucial para la calidad del agua, dado que puede impactar la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua y ejercer influencia en las especies naturales y sus interacciones. Además, podría contribuir al desarrollo de plantas acuáticas no deseadas (Prabagar, Thuraisingam, & Prabagar, 2023).

Para el Oxígeno Disuelto (OD) los menores resultados se encontraron en la estación seca en los puntos 4 y 2 con concentraciones de 1,9 mg/l y 2,1 mg/ respectivamente, pudiendo atribuirse el primer valor al vertido de aguas residuales originadas en la Planta de Tratamiento

de Aguas Residuales (PTAR) SALGUERO, el segundo resultado posiblemente se origina por vertidos de aguas sin tratar provenientes de las comunidades ubicadas en la ribera derecha del río Guatapurí, en donde se ha encontrado que estas no cuentan con sistemas de alcantarillado, lo que resulta en un aumento de la carga de materia orgánica en las aguas, esto conduce a una disminución del nivel de oxígeno disuelto, teniendo un impacto significativo en la fisiología de los organismos presentes en el cuerpo de agua; además, altera la composición y estructura de las comunidades en el ecosistema acuático (Naranjo & López, 2013), según Muñoz, y otros, en el año 2015 estos resultados son vinculados con la influencia humana, la cual se deriva de las altas densidades poblacionales ubicadas en las proximidades del cuerpo de agua.

Es importante destacar que la presencia del OD es crucial, la concentración de esta variable puede señalar el grado de contaminación de un cuerpo de agua y también influye en qué especies pueden sobrevivir en dicho entorno acuático, dependiendo de su tolerancia y capacidad de adaptación (Sierra, 2011, según lo citado por Meneses et al., 2019; Rincón, 2017).

Para los Coliformes Totales (CT) se puede evidenciar que en temporada seca los puntos con mayor valor son el 4, 5 y 2 con concentraciones promedio de 9600, 8350 y 8850 NMP/100 ml y en temporada de lluvia los puntos 4 y 5 con concentraciones promedio de 21000 y 17500 NMP/100 ml respectivamente, los resultados de la estación 2 que se ubicó en balneario Hurtado pueden ser atribuidos al hecho de que en las proximidades del río Guatapurí, ciertos habitantes que frecuentan este balneario descargan desechos orgánicos en sus orillas como resultado de sus actividades fisiológicas, además, en la ribera izquierda, la ocupación del suelo se vincula estrechamente con actividades como la ganadería de cerdos, vacas, y otros y debido las lluvias que se presentan en la cuenca generan el incremento del caudal lo que ocasiona que los desechos sean arrastrados hacia el cuerpo de agua.

De igual modo, los valores encontrados en los puntos 4 y 5 tanto en temporada de lluvia y seca se atribuyen a los vertidos de aguas residuales provenientes de la PTAR SALGUERO, situación que se ve exacerbada durante la temporada seca debido a la

disminución de los caudales del río y al alto contenido orgánico de los vertidos, además, durante la temporada de lluvias, las aguas de escorrentía pueden arrastrar los vertimientos generados en la actividad ganadera. Los resultados obtenidos sugieren, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984, que en los puntos 4 y 5, tanto en temporada de lluvias como seca, estas aguas no son aptas para actividades recreativas de contacto primario, siendo estas condiciones críticas ya que no pueden ser utilizadas para consumo humano ni doméstico.

Para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) quien constituye un factor crucial para evaluar las condiciones de uso de las aguas superficiales, proporcionando una estimación aproximada de la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua y se define como la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos aeróbicos presentes en la muestra oxiden la materia orgánica hasta convertirla en una forma estable; Los niveles elevados de DBO deterioran la calidad del agua de los ríos, ocasionando una disminución en la concentración de OD y creando condiciones ambientales desfavorables para la flora y fauna acuáticas (Dogan, Sengorur, y Koklu, 2009).

Como se puede apreciar, los valores registrados durante la temporada seca son superiores a los de lluvias, esto se debe al bajo caudal del río, del mismo modo, durante la temporada de lluvias, los valores mínimos se observaron en el punto 1, seguido del 3 y 6 con concentraciones promedio de 2, 4 y 5.5 mg/l de O<sub>2</sub> respectivamente, estos resultados según la clasificación establecida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: título C, donde se categorizan las fuentes de abastecimiento en función de varios parámetros, incluida la DBO<sub>5</sub>, manifestando que las fuentes con valores inferiores a 1.5 mg/l de O<sub>2</sub> se consideran de calidad aceptable, en consecuencia, solo el punto 1 cumple con este criterio, mientras que los otros dos puntos se consideran fuentes deficientes y los demás puntos se clasifican como fuentes muy deficientes, sste último se observa en todos los puntos de muestreo durante la temporada seca.

Por su parte, los Sólidos Suspendidos Totales (SST) desempeñan un papel crucial en diversos procesos biogeoquímicos acuáticos, influyendo en la modificación de las

distribuciones de la luz en el agua, promueven la eutrofización al acelerar el enriquecimiento de nutrientes y también afectan los flujos de micro contaminantes (Sun, y otros, 2024), para evaluar la adecuación de un cuerpo de agua para un uso específico, se lleva a cabo un análisis exhaustivo que abarca la evaluación de sus características hidrodinámicas, físicas, químicas y biológicas, en los cursos de agua, la temperatura, la turbidez y los sólidos suspendidos totales son algunas de las variables que se ven particularmente afectadas por actividades humanas como la agricultura, la deforestación y la industria (Gómez y Dalence, 2014), es así como la cantidad total de materia en suspensión en una muestra de agua se determina considerando la proporción de material suspendido en relación con la unidad de volumen o peso del agua (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2012).

Es así, como se puede observar que los mayores valores se presentaron en la temporada de lluvia, consecuencia del arrastre de sedimentos, materia orgánica y partículas coloidales depositados en el suelo de la cuenca por aguas de escorrentía, sumado a esto, se pudo apreciar una fuerte erosión en las riberas del río Cesar por la fuerte corriente, y que en muchas ocasiones esta situación se agrava por la explotación de material de arrastre la cual es una actividad económica en la zona, evidenciando que los resultados encontrados en este río son superiores a los del río Guatapurí, muestra de esto vemos que el punto presentó un valor medio de 233 mg/l, resultado que pudo deberse a la fuerte erosión que se presente aguas arriba generado por la deforestación de la zona ribereña.

## **Evaluación de la calidad del agua mediante los Índices de Contaminación (ICO)**

### ***Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO).***

Este índice se manifiesta a través de diversas variables, como la DBO5 y los CT, los cuales son indicativos de distintas fuentes de contaminación orgánica; asimismo, se evalúa el porcentaje de saturación de oxígeno, que proporciona información sobre la respuesta o capacidad del ecosistema frente a este tipo de contaminación, proporcionando pruebas de una carga orgánica elevada que se vierte en los cuerpos de agua, señalando la presencia de desechos animales y humanos, así como también de aceites, grasas, herbicidas y otros elementos, estos factores contribuyen a la disminución de los niveles de oxígeno en el agua

( (Trujillo, et. al., 2020; D'Ambrosio, et. al., 2017). Los valores medios del ICOMO en temporada de lluvia obtenidos a partir de las tres variables necesarias para este índice se detallan en la tabla 5, Además, se definieron los colores específicos para cada uno de los valores del índice, tomando en consideración que estos indican el nivel de contaminación del agua.

**Tabla 10.** *ICOMO en la cuenca media del río Cesar en temporada de lluvia.*

PUNTO DE MUESTREO		ICOMO	RANGO Y COLOR
PUNTO 1	MEDIA	0,22 ± 0,08	BAJA
PUNTO 2	MEDIA	0,44 ± 0,11	MEDIA
PUNTO 3	MEDIA	0,35 ± 0,19	BAJA
PUNTO 4	MEDIA	0,69 ± 0,06	ALTA
PUNTO 5	MEDIA	0,53 ± 0,26	MEDIA
PUNTO 6	MEDIA	0,32 ± 0,06	BAJA

*Nota.* Autores, 2025.

Durante la época de lluvias, los datos del ICOMO revelan una contaminación alta en la estación 4, atribuible a la descarga contaminante proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, estos vertimientos constituyen la principal causa de los elevados valores registrados en los parámetros de CT y DBO5. Otras áreas críticas son los puntos 2 y 5, en donde el primero es un sitio de gran importancia turística para la ciudad de Valledupar, evidenciándose niveles moderados de contaminación según los resultados medios del índice, esto se debe principalmente a los niveles altos de coliformes detectados en las muestras recolectadas, originados principalmente por la disposición inadecuada de aguas residuales domésticas, ganaderas y deposiciones humanas en las riberas del río.

Así mismo, el punto 5 exhibe una contaminación de nivel medio según los resultados medios, esta situación se atribuye a los altos niveles de CT y DBO5 registrados en una de las dos tomas de muestras, lo cual indica la carga contaminante procedente de la PTAR; en este punto, el cuerpo de agua no logró depurarse de forma natural a diferencia de lo observado

en la zona del punto 6, donde la contaminación fue mínima, esto evidencia que en dicho lugar se llevó a cabo un proceso efectivo de autodepuración.

Durante la temporada seca, la contaminación se incrementa notablemente debido al menor flujo de agua, lo que provoca una mayor concentración de contaminantes y, consecuentemente, un mayor deterioro del cuerpo de agua, esto puede apreciarse en la tabla 6.

**Tabla 11.** *ICOMO en la cuenca media del río Cesar en temporada seca.*

PUNTO DE MUESTREO		ICOMO	RANGO Y COLOR
PUNTO 1	MEDIA	0,51 ± 0,11	MEDIA
PUNTO 2	MEDIA	0,51 ± 0,23	MEDIA
PUNTO 3	MEDIA	0,35 ± 0,04	BAJA
PUNTO 4	MEDIA	0,79 ± 0,05	ALTA
PUNTO 5	MEDIA	0,70 ± 0,04	ALTA
PUNTO 6	MEDIA	0,52 ± 0,03	MEDIA

*Nota.* Autores, 2023.

De acuerdo con los datos presentados en la tabla 6, se observa un deterioro en la calidad del agua en todas las estaciones, siendo los puntos 4 y 5 los más afectados, con un incremento notable en los niveles de contaminación, catalogados como altos, en el primer punto mencionado, el valor promedio del ICOMO aumentó de 0.69 a 0.79, mientras que, en el segundo punto, este valor pasó de 0.53 a 0.70. Investigaciones similares, como las llevadas a cabo por Chavarro y Gélvez en el año 2016, también han encontrado resultados afines, donde los niveles elevados de CT, y en menor medida de DBO5, podrían estar vinculados a descargas directas de estiércol de ganado, dada la presencia de actividad ganadera en esta zona, así como posiblemente a la liberación de aguas residuales provenientes de la población aledaña. Además, se suma a esto lo descubierto por Suárez y Trujillo en el 2018, quienes observaron niveles moderados de contaminación en ciertos puntos de muestreo, causados por el vertido de aguas residuales de comunidades cercanas al curso del agua. En términos generales, durante la temporada seca, la calidad ambiental del río Cesar se ve notablemente

afectada, con la excepción de la estación 3, que conserva la misma clasificación que durante la temporada de lluvias.

### ***Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS).***

El índice ICOSUS se basa en la concentración de sólidos suspendidos, los cuales comprenden partículas sólidas, tanto orgánicas como inorgánicas, que permanecen en suspensión en el cuerpo de agua (Trujillo, et. al., 2020). Los resultados de este índice durante las temporadas de lluvia y seca están detallados en la tabla 7.

**Tabla 12.** *ICOSUS en la cuenca media del río Cesar en temporada de lluvia y seca.*

PUNTO DE MUESTREO		TEMPORADA DE LLUVIA		TEMPORADA SECA	
		ICOSUS	RANGO Y COLOR	ICOSUS	RANGO Y COLOR
PUNTO 1	MEDIA	0,15 ± 0,08	NINGUNA	0,03 ± 0,00	NINGUNA
PUNTO 2	MEDIA	0,02 ± 0,02	NINGUNA	0,00 ± 0,00	NINGUNA
PUNTO 3	MEDIA	0,02 ± 0,02	NINGUNA	0,00 ± 0,00	NINGUNA
PUNTO 4	MEDIA	0,18 ± 0,08	NINGUNA	0,07 ± 0,08	NINGUNA
PUNTO 5	MEDIA	0,22 ± 0,25	BAJA	0,05 ± 0,06	NINGUNA
PUNTO 6	MEDIA	0,53 ± 0,67	MEDIA	0,02 ± 0,01	NINGUNA

*Nota.* Autores, 2023.

Como se detalla en la tabla 7, durante la temporada de lluvias, la mayoría de los puntos de muestreo, cuatro de seis, no presentaron contaminación, y en la temporada seca, todos los puntos mostraron ausencia de contaminación, Esto refleja condiciones fisicoquímicas en la superficie del agua que son propicias para el establecimiento y desarrollo adecuado de la biota acuática (Miranda, et. al., 2016). Sin embargo, se observó contaminación media en el punto 6 y baja en el punto 5 durante la temporada de lluvias, lo cual se atribuye al transporte de coloides, sólidos y materia orgánica por las aguas de escorrentía, así como por la intensa erosión que ocurre en la zona durante los periodos lluviosos, además, se evidencia una desprotección de las riberas del río derivada por la deforestación las cuales afectan las condiciones locales (Bustamante, et. al., 2014). Cabe destacar que a pesar de que este índice es esencial para determinar la contaminación por

sólidos suspendidos totales, resulta insuficiente para identificar un impacto causado por la contaminación minera (Yarce, et. al., 2022). En resumen, la evaluación actual del río utilizando este indicador revela que la contaminación en la cuenca media es mínima, excepto en la estación 6, donde se detecta un nivel moderado de contaminación, y en la estación 5, donde se registra una contaminación leve.

### ***Índice de Contaminación por pH***

Los resultados de este índice en la cuenca media del río Cesar se presentan en la tabla 8, la cual también incluye los rangos y color correspondientes.

**Tabla 13.** *ICOpH en la cuenca media del río Cesar en temporada de lluvia y seca.*

PUNTO DE MUESTREO		TEMPORADA DE LLUVIA		TEMPORADA DE SEQUÍA	
		ICOpH	RANGO Y COLOR	ICOpH	RANGO Y COLOR
PUNTO 1	MEDIA	0,002 ± 0,00	NINGUNA	0,005 ± 0,00	NINGUNA
PUNTO 2	MEDIA	0,001 ± 0,00	NINGUNA	0,01 ± 0,01	NINGUNA
PUNTO 3	MEDIA	0,001 ± 0,00	NINGUNA	0,000 ± 0,00	NINGUNA
PUNTO 4	MEDIA	0,004 ± 0,00	NINGUNA	0,002 ± 0,00	NINGUNA
PUNTO 5	MEDIA	0,008 ± 0,00	NINGUNA	0,003 ± 0,00	NINGUNA
PUNTO 6	MEDIA	0,004 ± 0,00	NINGUNA	0,022 ± 0,02	NINGUNA

*Nota.* Autores, 2023.

Como se puede apreciar, en la cuenca media del río Cesar, no se evidencia contaminación atribuible a fluctuaciones en el pH de las fuentes de agua en estudio, evidenciando que la calidad en términos de este parámetro es óptima.

### ***Índice de Contaminación por Temperatura.***

Este indicador establece una correlación de la variación de temperatura, medida en grados centígrados, entre el agua en el cuerpo receptor y el vertido, con el nivel de impacto o contaminación que esta diferencia implica, su propósito es determinar si un cuerpo de agua

sería afectado por la descarga de aguas con temperaturas altas o bajas en cuerpos de agua cálidos; como se puede observar en la tabla 9, los resultados revelan un valor de 0, lo cual indica que la discrepancia de temperatura entre el vertido de la PTAR y el cuerpo receptor fue inferior a 2,5 °C (Restrepo y Cardeñosa, 1999).

**Tabla 14.** ICOTEMP en la cuenca media del río Cesar en temporada de lluvia y seca.

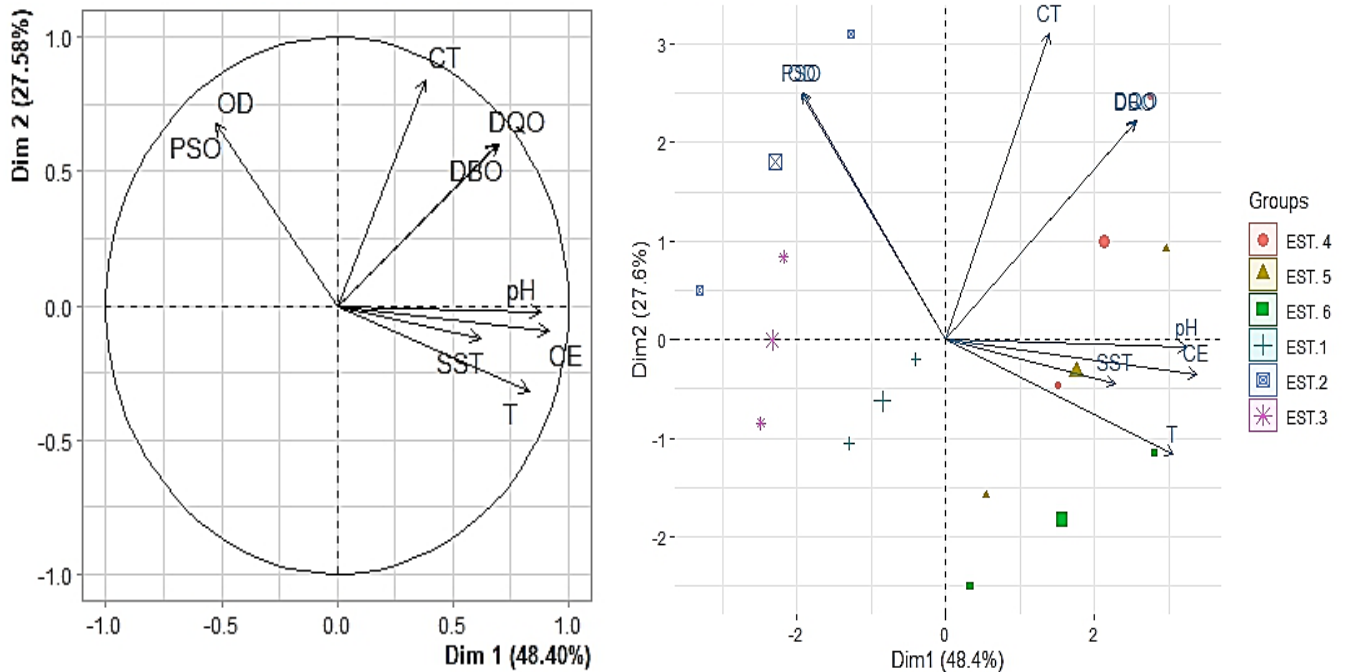
PUNTO DE MUESTREO		TEMPORADA DE LLUVIA		TEMPORADA DE SEQUÍA	
		ICOTEMP	RANGO Y COLOR	ICOTEMP	RANGO Y COLOR
PUNTO 1	MEDIA	0	NINGUNA	0	NINGUNA

*Nota.* Autores, 2023.

#### **Análisis de Componentes Principales (ACP) de las variables fisicoquímicas y microbiológicas en estudio de la cuenca media del río Cesar.**

Para descubrir posibles patrones y conexiones comunes entre los distintos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos estudiados, así como para analizar sus correlaciones, se utilizó el software RSTUDIO con la técnica de Análisis de Componentes Principales (ACP) en la cuenca media del río Cesar durante la temporada de lluvias y seca. Como puede apreciarse en la figura 1, los resultados de la temporada de lluvia revelan que dos componentes principales abarcan el 75,98% del conjunto de datos, el primer componente principal explica el 48,4% del total, mientras que el segundo componente principal representa el 27,58%.

**Figura 2.** Componente 1 y 2 del ACP de las variables fisicoquímicas y microbiológicas de la cuenca media del río Cesar en temporada de lluvia.



*Nota.* T: Temperatura, CE: Conductividad Eléctrica, OD: Oxígeno Disuelto, PSO: Porcentaje de Saturación de Oxígeno, CT: Coliformes Totales, SST: Sólidos Suspendidos Totales.  
Fuente: Autores, 2023.

Como puede apreciarse en la parte positiva de ambos componentes, la DBO5 y los coliformes totales están directamente correlacionadas, esto sugiere la existencia de una proporción considerable de materia orgánica biodegradable en el cuerpo de agua (Jamwal et al., 2022). Teniendo como origen los vertidos de aguas residuales provenientes de la planta de tratamiento, lo cual se respalda con la correlación observada en la estación 4, ubicada aguas abajo de dicho punto de descarga.

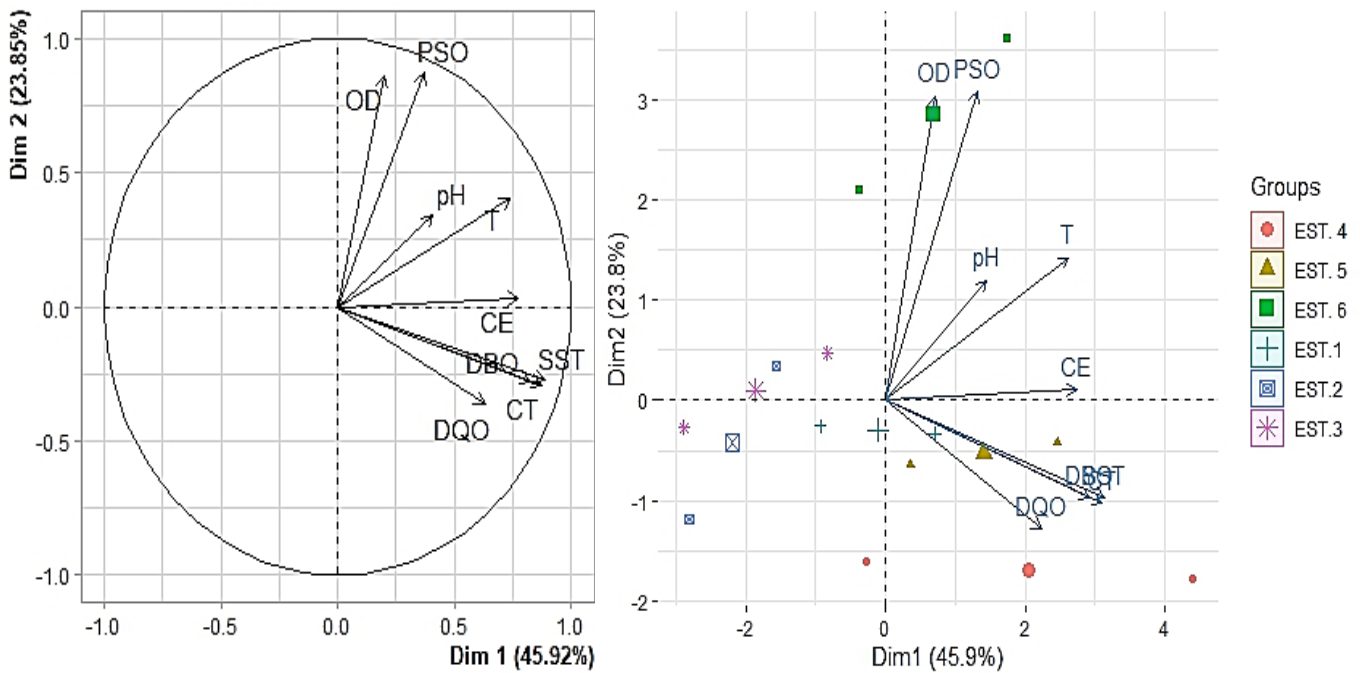
De manera similar, se aprecia que, en el cuadrante positivo del primer componente y el negativo del segundo componente, el pH, la conductividad eléctrica y la temperatura muestran una fuerte correlación. Además, estas tres variables exhiben una correlación intermedia con los sólidos suspendidos totales, especialmente en el punto 5 y, en menor

medida, en el 6, esta asociación se explica por las fluctuaciones notables en la conductividad eléctrica en el cuerpo de agua, las cuales están fuertemente influenciadas por la temperatura del agua y la cantidad total de iones presentes, estos resultados presentan variaciones significativas debido a procesos naturales, como la erosión de rocas, así como por acciones antrópicas, tales como, la erosión acelerada generada por la deforestación de las riberas y la contaminación, todos estos, elementos presentes en la zona (Özalp et al., 2023). Así mismo, la correlación entre la temperatura y el oxígeno disuelto, según Brönmark y Hanson en el año 2005, citado en Beltrán, et al., (2015) se explica por el hecho de que conforme la temperatura aumenta, el agua tiende a retener menos oxígeno, lo que puede afectar negativamente a los organismos acuáticos; este cambio en la temperatura podría incidir en las tasas metabólicas de dichos organismos, incrementando su demanda de oxígeno.

Sin embargo, se evidencia una correlación inversa entre el oxígeno disuelto y los sólidos suspendidos totales, así como la saturación de oxígeno, los cuales se sitúan en el cuadrante negativo de los dos componentes principales. Según (Parker et al., 2010) esta relación se debe al hecho de que una mayor concentración de sólidos suspendidos totales conlleva a una mayor degradación de estos, lo que resulta en un mayor consumo de oxígeno; por ende, esto conlleva a una disminución en los niveles de oxígeno disuelto y la saturación de oxígeno.

Siguiendo un proceso similar al descrito previamente, se analizaron los comportamientos observados en las variables estudiadas en la cuenca media del río Cesar durante la temporada seca mediante el uso del ACP, cuya representación se presenta en la figura 2. Este análisis reveló que dos componentes principales explican el 69,77% de la variabilidad total. El primer componente principal abarca el 45,92% de la variabilidad total, mientras que el segundo componente principal contribuye con el 23,85%.

**Figura 3.** Componente 1 y 2 del ACP de las variables fisicoquímicas y microbiológicas de la cuenca media del río Cesar en temporada seca.



Nota. T: Temperatura, CE: Conductividad Eléctrica, OD: Oxígeno Disuelto, PSO: Porcentaje de Saturación de Oxígeno, CT: Coliformes Totales, SST: Sólidos Suspendedos Totales. Fuente: Autores, 2023.

Durante la temporada seca en el ACP persiste una asociación significativa entre las variables DBO5 y coliformes totales, al igual que estas dos presentan una correlación fuerte con los sólidos suspendidos totales, es relevante señalar que esta correlación se encuentra en el cuadrante positivo del primer componente principal y en el cuadrante negativo del segundo componente principal. Como hemos mencionado en la temporada de lluvia, esta relación está vinculada a los vertidos procedentes de la PTAR Salguero, estando reforzada esta conexión por la correlación de estas variables con los puntos 4 y 5, que son directamente impactadas por estos vertidos. Esto se ve respaldado por investigaciones como las llevadas a cabo por Balogun y Ogwueleka en el año 2021 quienes han confirmado una correlación fuerte entre estos tres parámetros, lo que implica que las aguas residuales podrían ser una causa común de resultados análogos. Es importante destacar que los vertidos de aguas residuales pueden ocasionar un incremento en los niveles de DBO5 y de nutrientes en los cuerpos de agua, y

esto a su vez, pueden favorecer la proliferación de algas tóxicas y desequilibrar el ecosistema acuático (Kayira y Wanda, 2021).

De manera similar, se puede observar en el cuadrante positivo de los componentes I y II, así como durante la temporada de lluvias, una relación entre el oxígeno disuelto y la saturación de oxígeno con el pH y la temperatura, esta asociación se explica porque la temperatura tiene un impacto en la capacidad del agua para disolver oxígeno, mientras que el punto de saturación indica el nivel en el que, típicamente, el agua retiene más oxígeno a una temperatura específica, además, la correlación entre el oxígeno disuelto y el pH puede atribuirse al aumento de su concentración durante el proceso de fotosíntesis de las plantas acuáticas, cuando eliminan dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) del entorno, por otro lado, disminuyen durante la respiración de los organismos acuáticos y cuando se libera  $\text{CO}_2$  en el cuerpo de agua por los descomponedores (Rouf et al., 2022).

Finalmente, se observa que los puntos 2 y 3 no mostraron ninguna correlación con las variables estudiadas, esto podría explicarse por el hecho de que estos puntos se encontraban situadas en la intercuenca baja del río Guatapurí, el cual, a pesar de ser uno de los afluentes más importantes del río Cesar, exhibe condiciones ambientales diferentes, como el tipo de suelo, la pendiente de la cuenca, la temperatura del agua y el uso del suelo, entre otros factores, esta disparidad podría explicar por qué los valores obtenidos en estos puntos fueron generalmente más bajos en la mayoría de los muestreos.

## CONCLUSIONES

Para entender y evaluar las condiciones ambientales de un cuerpo de agua, es fundamental analizar las variables fisicoquímicas y microbiológicas, la combinación de estas variables con índices de calidad y contaminación del agua ofrece un método eficaz y accesible para valorar una fuente hídrica, tras analizar los resultados de esta investigación, se pueden extraer las siguientes conclusiones.

Los mejores resultados en la calidad del agua se observaron durante la temporada de lluvias, lo que se debe al proceso natural de autodepuración que experimentan las aguas crudas. En cambio, durante la temporada de sequía, se produjo un aumento notable en las concentraciones de contaminantes, particularmente en la estación 4, donde se detectó un vertimiento de aguas residuales. Este vertimiento se erige como la principal fuente de contaminación en la cuenca media. Además, es fundamental destacar que las actividades económicas, como la agricultura y la ganadería, generan una presión adicional sobre la calidad del agua, impactando de manera significativa el estado del río Cesar y el río Guatapurí.

El análisis de los ICO mostró que, en general, no hay contaminación significativa en las estaciones evaluadas durante las temporadas de sequía y lluvia, según los indicadores ICOpH, ICOTEMP e ICOSUS. Sin embargo, durante la temporada de lluvias, algunas muestras en las estaciones 1, 4 y 5 presentaron bajos niveles de contaminación. En particular, el punto 6 reflejó una contaminación moderada, lo cual se atribuye a la erosión severa aguas arriba, causada por el fuerte caudal y la escasa vegetación en las riberas del río. Esta situación es resultado de la tala de árboles para la expansión de actividades agrícolas y ganaderas, lo que afecta directamente el ecosistema.

Por otro lado, el Índice de Contaminación por Materia Orgánica ICOMO reveló una contaminación media en las estaciones 2 y 3 durante la temporada de lluvias, y un nivel alto en el punto 4, vinculado a la presencia elevada de coliformes totales. En los demás puntos, los niveles de contaminación fueron bajos. Sin embargo, la temporada de sequía trajo consigo un empeoramiento de las condiciones ambientales en la cuenca media del río Cesar,

evidenciado por un aumento en los niveles de contaminación, especialmente en las estaciones 1, 2, 4 y 6. Notablemente, las estaciones 1 y 2 pasaron de tener baja contaminación a niveles medianos. Esto subraya la necesidad urgente de tomar medidas para proteger nuestros recursos hídricos y preservar la salud del ecosistema.

## **RECOMENDACIONES**

Es muy importante seguir realizando estudios como este, ya que nos ayudan a entender mejor la calidad del agua y cómo las actividades humanas están afectando el medio ambiente en nuestra región. Al conocer más sobre la contaminación, podremos implementar medidas que reduzcan los riesgos ambientales causados por los vertimientos de aguas residuales de la PTAR y de actividades agrícolas y ganaderas.

También sería beneficioso que las autoridades ambientales, como CORPOCESAR, establezcan un sistema de monitoreo para analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua. Esto permitiría aplicar los ICO para evaluar el estado del río Cesar y el río Guatapurí. De esta manera, podríamos tener un mejor control y seguimiento de la calidad del agua, lo que contribuiría a la salud de nuestro ecosistema y a la calidad de vida de todos los que dependemos de estos recursos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anyango, G. W., Bhowmick, G. D., & Bhattacharya, N. S. (2024). A Critical Review of Irrigation Water Quality Index and Water Quality Management Practices in Micro-Irrigation for Efficient Policy Making. *Desalination and Water Treatment*, 318. doi:<https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100304>.
- Ariza-Restrepo, J., Rodríguez-Díaz, Y., & Oñate-Barraza, H. (2023). Water quality indices (WQI) and contamination indices (WPI) a bibliographic review. *Tecnura*, 27(77), 121-140. doi:<https://doi.org/10.14483/22487638.20052>
- Balogun, S., & Ogwueleka, T. (2021). Coliforms removal efficiency of Wupa wastewater treatment plant, Abuja, Nigeria. *Energy Nexus*, 4. doi:<https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100024>.
- Beltrán, D., Palomino, R., Moreno, E., Peralta, C., & Montesinos, D. (2015). Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011. *Revista Peruana de Biología*, 22(3), 335-340. Retrieved from [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727-99332015000300010&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1727-99332015000300010&script=sci_arttext)
- Bustamante, C., Naranjo, J., & Ahumada, J. (2014). Determinación de la calidad ecológica del río Tuluá Valle del Cauca. *MUTIS*, 4(2), 35-43. Retrieved from <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/624/955-Texto%20del%20art%3%adculo-2602-1-10-20150417.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Calvo-Brenes, G. (2019). Nuevo índice para valorar la calidad de aguas superficiales en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 32(4), 104-115. Retrieved from [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0379-39822019000400104](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822019000400104)
- Chavarro, A., & Gélvez, E. (2016). Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo. *MUTIS*, 6(2), 19-31.
- D'Ambrosio, M., Elordi, M. L., Buffone Schab, B. O., Balbi, K. B., Porta, A. A., Andrinolo, D., & Cano, L. A. (2017). Evaluación de la calidad del agua de la laguna

- de Los Patos, Ensenada, mediante índices de calidad y de contaminación. Retrieved from <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/118273>
- D'Ambrosio, M., Elordi, M. L., Buffone Schab, B. O., Balbi, K. B., Porta, A. A., Andrinolo, D., & Cano, L. A. (2017). Evaluación de la calidad del agua de la laguna de Los Patos, Ensenada, mediante índices de calidad y de contaminación. In VI Congreso Bianual PROIMCA y IV Congreso Bianual PRODECA (Bahía Blanca, 2017). Retrieved from <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/118273>
- Dash, S., & Kalamdhad, A. (2021). Science mapping approach to critical reviewing of published literature on water quality indexing. *Ecological Indicators*, 128. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107862>.
- Dash, S., & Kalamdhad, A. S. (2021). Science mapping approach to critical reviewing of published literature on water quality indexing. *Ecological Indicators*, 128. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107862>.
- Dogan, E., Sengorur, B., & Koklu, R. (2009). Modeling biological oxygen demand of the Melen River in Turkey using an artificial. *Journal of Environmental Management*, 90(2). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.06.004>.
- Fortes, A. C., Barrocas, P. R., & Kligerman, D. (2023). Water quality indices: Construction, potential, and limitations. *Ecological Indicators*, 157. doi:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X23013298>
- Ganguli, S., Akter, M. H., Howlader, S., Abid, M., Islam, S., Nur, M., & Nazrul, M. (2022). Assessment of Bhatiari Lake water quality: Pollution indices, hydrochemical signatures and hydro-statistical analysis. *Journal of the Indian Chemical Society*, 99(8). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100585>.
- Gómez, J., & Dalence, J. (2014). Determinación del parámetro sólidos suspendidos totales (SST) mediante imágenes de sensores ópticos en un tramo de la cuenca media del río Bogotá (Colombia). *UD Y la Geomática*, 9, 19-27.
- IDEAM. (2020). Instructivo de toma y preservación de muestras sedimentos y agua superficial para la red de monitoreo de calidad del ideam. Retrieved from <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://sgi.ideam.gov.co/documents/412030/35488871/M-S-LC-I004+INSTRUCTIVO+DE+TOMA+Y+PRESERVACI%C3%93N+DE+MUESTR>

AS+SEDIMENTOS+Y+AGUA+SUPERFICIAL+PARA+LA+RED+DE+MONIT  
OREO+DE+CALIDAD+DEL+IDEAM+v3.pdf/477bbe

- Instituto Nacional de Salud Subdirección Red Nacional de Laboratorios. (2011). Manual de instrucciones para la toma, prevención y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio. Retrieved from <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>
- Jamwal, P., Phillips, D., & Gowda, R. (2022). Assessing performance of local materials for the treatment of dry weather flows in open drains: Results of semi-controlled field experiment research in Bangalore, India. *Ecological Engineering*, 175. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106506>
- Karaouzas, I., Kapetanaki, N., Mentzafou, A., Kanellopoulos, T. D., & Skoulikidis, N. (2021). Heavy metal contamination status in Greek surface waters: A review with application and evaluation of pollution indices. *Chemosphere*, 263. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128192>.
- Kayira, F., & Wanda, E. M. (2021). Evaluation of the performance of Mzuzu Central Hospital wastewater oxidation ponds and its effect on water quality in Lunyangwa River, Northern Malawi. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 123. doi:<https://doi.org/10.1016/j.pce.2021.103015>.
- Khadija, D., Hicham, A., Rida, A., Hicham, E., Nordine, N., & Najlaa, F. (2021). Surface water quality assessment in the semi-arid area by a combination of heavy metal pollution indices and statistical approaches for sustainable management. *Environmental Challenges*, 5. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100230>
- Meneses, Y., Castro, M., & Jaramillo, A. (2019). Comparación de la calidad del agua en dos ríos altoandinos mediante el uso de los índices BMWP/COL. y ABI. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2).
- Miranda, J. P., Mosquera, J. A., & Céspedes, J. M. (2016). Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 8(1), 159-167. Retrieved from <https://www.redalyc.org/journal/5177/517752176015/517752176015.pdf>

- Miranda-Sanguino, R. A., Ramírez, R., & Sánchez-Ortíz, E. A. (2016). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano mediante indicadores fisicoquímicos y microbiológicos en el río Algodonal. *Revista Ingenio*, 10(1). Retrieved from <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2088>
- Muñoz, H., Orozco, S., Vera, A., Suárez, J., García, E., Neria, M., & Jiménez, J. (2015). Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(5), 59-74.
- Naranjo, J., & López, P. (2013). Biological monitoring working party, un índice biótico con potencialidades para evaluar la calidad de las aguas en ríos. *Ciencia en su PC*, 2. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/1813/181328708003.pdf>
- Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional*.
- Özalp, M., Yildirimer, S., & Yüksel, E. (2023). The impacts of human-induced disturbances on spatial and temporal stream water quality variations in mountainous terrain: A case study of Borcka Dam Watershed. *Heliyon*, 9(8). Retrieved from [https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440\(23\)06035-8.pdf](https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440(23)06035-8.pdf)
- Pandit, D. N., Kumari, R., & Shitanshu, S. K. (2022). A comparative assessment of the status of Surajkund and Rani Pond, Aurangabad, Bihar, India using overall Index of Pollution and Water Quality Index. *Acta Ecologica Sinica*, 42(3). doi:<https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2020.11.009>.
- Parker, S., Gammons, C., Poulson, S., DeGrandpre, M., Weyer, C., Smith, M., . . . Oba, Y. (2010). Diel behavior of stable isotopes of dissolved oxygen and dissolved inorganic carbon in rivers over a range of trophic conditions, and in a mesocosm experiment. *Chemical Geology*, 269(1-2), 22-32. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2009.06.016>
- Pérez-Castillo, A., & Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología Tropical*, 56(4). Retrieved from [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442008000400026&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442008000400026&script=sci_arttext)
- Prabagar, S., Thuraisingam, S., & Prabagar, J. (2023). Sediment analysis and assessment of water quality in spacial variation using water quality index (NSFWQI) in Moragoda

- canal in Galle, Sri Lanka. *Waste Management Bulletin*, 1(2).  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.05.002>.
- Ramirez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. *Formulaciones y aplicación. Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3). Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Gerardo\\_Vina-Vizcaino2/publication/262521562\\_Cuatro\\_indices\\_de\\_contaminacion\\_para\\_caracterizacion\\_de\\_aguas\\_continentalas\\_formulaciones\\_y\\_aplicacion/links/575f115808aed884621ba86f/Cuatro-indices-de-contaminacion-para-ca](https://www.researchgate.net/profile/Gerardo_Vina-Vizcaino2/publication/262521562_Cuatro_indices_de_contaminacion_para_caracterizacion_de_aguas_continentalas_formulaciones_y_aplicacion/links/575f115808aed884621ba86f/Cuatro-indices-de-contaminacion-para-ca)
- Restrepo, A., & Cardeñoso, M. (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. *formulaciones. CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(5), 89-99. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0122-53831999000100008&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0122-53831999000100008&script=sci_arttext)
- Restrepo, I. R. (2015). Evaluación de la calidad del recurso hídrico del río cabí a través de la formulación de un índice de contaminación asociado a la actividad minera aurífera. Retrieved from [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/2438/Restrepo\\_Ivan\\_Rodrigo\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/2438/Restrepo_Ivan_Rodrigo_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Restrepo, R., & Cardeñoso, M. (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. *CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(5). Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s0122-53831999000100008](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0122-53831999000100008)
- Rincón, N. (2017). Evaluación de parámetros físico-químicos del agua en el proceso de potabilización del río Subachoque. *Revista Tecnogestión*, 13(1).
- Rouf, M. A., Islam, M. J., Roknuzzaman, M., Siddique, M. N., & Golder, M. R. (2022). Vertical profile of dissolved oxygen and associated water variables in the Pasur-Rupsha estuary of Bangladesh. *Heliyon*, 8(10). Retrieved from [https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440\(22\)02223-X.pdf](https://www.cell.com/heliyon/pdf/S2405-8440(22)02223-X.pdf)
- Samboni, N. E., Carvajal, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros físico-químicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e*

- investigación, 27(3). Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0120-56092007000300019&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s0120-56092007000300019&script=sci_arttext)
- Suárez, J., & Trujillo, B. (2018). Contaminación orgánica del río Chambo en el área de descarga de agua residual de la ciudad de Riobamba. *Perfiles*, 2(20), 40-46.
- Sun, Q., Luo, W., Dong, X., Lei, S., Mu, M., & Zeng, S. (2024). Landsat observations of total suspended solids concentrations in the Pearl River Estuary, China, over the past 36 years,. *Environmental Research*.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118461>.
- Syed, M. M., Hossain, M. S., Karim, M. R., Uddin, M. F., & Khan, R. H. (2023). Surface water quality profiling using the water quality index, pollution index and statistical methods: A critical review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 18.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100247>.
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94.  
Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-33242009000300009&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-33242009000300009&script=sci_arttext)
- Trujillo-Zapata, S. A., Cortés-Orozco, C. P., Vinasco-Guzmán, M. C., Ortega-Astudillo, J. D., & Cruz-Ospina, C. A. (2020). Evaluación de la calidad del agua en la fuente abastecedora de Pitalito–Huila: Río Guachicos y sus afluentes principales, utilizando los índices de contaminación e índice de calidad de agua. *Gestión y Ambiente*, 23(2), 182-192. doi:<https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.83600>  
*Gestión y Ambiente* 23(2), 182-192, 2020
- Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*, 122.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>.
- Valverde-Solis, A., Moreno-Tamayo, E., & Ortiz-Palacios, N. Y. (2015). Análisis de la calidad de varios cuerpos de aguas superficiales en Bahía Solano utilizando índices de contaminación. *REVISTA DE INVESTIGACIONES*, 34(1). Retrieved from <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/118273>

Yan, T., Shen, S. L., & Zhou, A. (2022). Indices and models of surface water quality assessment: Review and perspectives. *Environmental Pollution*, 308.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119611>.

Yarce, J. D., Benavidez, J. T., & Erazo, M. F. (2022). Identificación del impacto ocasionado por la actividad agrícola en las fuentes hídricas. Revisión bibliográfica. *Boletín Informativo CEI*, 9(1). Retrieved from  
<https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/3024/3279>

## SEMBLANZA

### Autores

#### JAIME LUIS ARIZA RESTREPO

Magister en Ciencias Ambientales - Universidad Popular del Cesar – SUE CARIBE. Ingeniero Ambiental y Sanitario – Universidad Popular del Cesar. Docente – Universidad Popular del Cesar. Red Nombre. Grupo de investigación Estudios Sanitarios y Ambientales - E.S.A.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1888-7629>

GOOGLE ACADEMICO: REGISTRARSE <https://scholar.google.es/schhp?hl=es>

PUBLONS:

REGISTRARSE <https://publons.com/account/login/?next=/dashboard/summary/>

RESEARCHGATE: REGISTRARSE <https://www.researchgate.net/>

Observación una vez realizada la publicación registrar el producto en las bases anteriores

Correo electrónico Institucional: [jaimelariza@unicesar.edu.co](mailto:jaimelariza@unicesar.edu.co)

Correo electrónico Personal: [jaimeluisariza21@gmail.com](mailto:jaimeluisariza21@gmail.com)

#### YIM JAMES RODRÍGUEZ DÍAZ

Doctor en Educación - Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Ingeniero del Medio Ambiente - Universidad de la Guajira. Docente – Universidad Popular del Cesar. Docente. Red Nombre. Grupo de investigación Estudios Sanitarios y Ambientales - E.S.A.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4463-0077>

GOOGLE ACADEMICO: REGISTRARSE <https://scholar.google.es/schhp?hl=es>

PUBLONS:

REGISTRARSE <https://publons.com/account/login/?next=/dashboard/summary/>

RESEARCHGATE: REGISTRARSE <https://www.researchgate.net/>

Observación una vez realizada la publicación registrar el producto en las bases anteriores

Correo electrónico Institucional: [yimrodriguez@unicesar.edu.co](mailto:yimrodriguez@unicesar.edu.co)

