

Evaluación de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados como bioindicadores en el Río Toribio de Ciénaga – Magdalena¹

<https://doi.org/10.15332/2422409X.9666>

[Artículos]

Recibido: xx/xx/2024

Aceptado: xx/xx/2024

Fanny M. Pinzón Candelario²

Cindy L. García Pinto³

Jazmin A. Avila Treviño⁴

Citar como:

Pinzón Candelario, F. M., García Pinto, C. L., & Avila Treviño, J. A. Evaluación de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados como bioindicadores en el Río Toribio de Ciénaga – Magdalena. *CITAS*, 10(1), 46–63. <https://doi.org/10.15332/2422409X.9666>



Resumen

La calidad del agua en diversos ecosistemas acuáticos ha cobrado gran relevancia en la actualidad debido a las afectaciones que se presentan por el impacto antropogénico, es por esto, que países desarrollados han realizado planes de manejo de los ecosistemas basados en su mayoría en el uso de índices fisicoquímicos que brindan una data instantánea acerca del estado del recurso y de acuerdo a estos índices, establecen normatividad sobre el manejo de dicho recurso. Por ello, en la actualidad el uso de bioindicadores ha tomado gran relevancia a la hora de evaluar ecosistemas acuáticos, ya que pueden evaluar no solo la calidad en términos fisicoquímicos sino la calidad ecológica de todo el ecosistema.

¹ Proyecto “Evaluación de la calidad de agua en la zona baja del río Toribio, Ciénaga-Colombia mediante la utilización de macroinvertebrados.

² Universidad América de Europa-México, Universidad Nacional Abierta y a Distancia- Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente. fanny.pinzon@unad.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2082-2971>

³ Universidad Nacional Abierta y a Distancia- Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente. cindy.garcia@unad.edu.co; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3454-8934>

⁴ Universidad América de Europa. jazminanai.avila@aulagrupo.es; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3583-1050>

CITAS

e-ISSN: 2422-4529 |  <https://doi.org/10.15332/24224529>

Vol. 10, n.º 1 | enero – junio del 2024

En este sentido, la investigación pretendió evaluar la calidad del agua del Río Toribio utilizando los macroinvertebrados como bioindicadores, aplicando el índice biológico BMWP - Biological Monitoring Working Party-. El estudio fue de tipo descriptivo ya que se recogieron datos fisicoquímicos y de las diferentes poblaciones de macroinvertebrados presentes en tres estaciones establecidas en la zona baja del Río Toribio en dos épocas pluviométricas del año: una de lluvia y otra seca. Para ello se realizó captura de especímenes, identificación y clasificación taxonómica para posteriormente realizar la aplicación del índice BMWP, con el fin de establecer la calidad ecológica del ecosistema. Dentro de los datos obtenidos de los muestreos realizados, uno de los más notorios es la diferencia de macroinvertebrados presentes en las dos épocas estudiadas (temporada seca y temporada de lluvia) y cómo estas condiciones afectan la presencia o ausencia de estas especies.

Palabras clave: agua, índice BMWP; bioindicador; calidad ecológica; diversidad, abundancia.

Clasificación JEL: Q25

Abstract

Water quality in various aquatic ecosystems has become very important nowadays due to the effects of anthropogenic impact, which is why developed countries have made managements plans for these ecosystems based mostly on the use of physicochemical indices that provide instantaneous data on the state of the resource and, according to these indices, establish regulations on the management of this resource. Therefore, at present the use of bioindicators has become very relevant when evaluating aquatic ecosystems, since they can evaluate not only the quality in physicochemical terms but also the ecological quality of the entire ecosystem.

In this sense, the research aimed to evaluate the water quality of the Toribio River using macroinvertebrates as bioindicators, applying the BMWP -Biological Monitoring Working Party- biological index. The study was descriptive since physicochemical data and the different populations of macroinvertebrates present in three stations established in the lower area of the Toribio River were collected in two rainy seasons of the year: one rainy and the other dry. For this, specimen capture, identification and taxonomic classification were carried out to later apply the BMWP index, in order to establish the ecological quality of the ecosystem.

Among the data obtained from the sampling, one of the most notable is the difference in macroinvertebrates present in the two seasons studied (dry season and rainy seasons) and how these conditions affect the presence or absence of these species.

Keywords:

Classification JEL: Q25

Introducción

Uno de los recursos naturales más importantes que encontramos en el planeta, son los ecosistemas acuáticos, sin embargo, a pesar de su gran importancia para la vida y subsistencia de todos los organismos, han sido afectados por las actividades humanas, lo que ha causado una reducción de biota acuática y en algunos casos hasta su extinción total (Lara et al., 2008).

Dentro de la biota asociada a los ecosistemas acuáticos encontramos a los macroinvertebrados que se caracterizan por notarse a simple vista y que poseen tamaños mayores a 0,5 mm de longitud, permitiéndoles quedar retenidos en tamices número 30US Standard. De acuerdo con Rosenberg y Resh (1993), se les ha asignado el prefijo “macro” ya que quedan retenidos en sus primeros estados larvarios en redes de 200-500mm y en sus últimos estados o en forma de adultos tienen tamaños superiores a los 2,5 mm (González y García, 1995).

Los macroinvertebrados cuentan con abundantes representantes, tanto en ecosistemas de aguas tranquilas sin poco movimiento llamadas lénticas, como en aguas rápidas o con movimiento llamados lóticos (Álvarez, 2005). Estos organismos se desarrollan muy bien en diferentes hábitats como el fondo de ríos y lagos, algunos se entierran en diferentes sustratos, otros se adhieren a las piedras, a troncos o vegetación acuática y algunos nadan libremente dentro del agua o sobre ella. Este grupo incluye taxones como: moluscos, crustáceos y algunos géneros de insectos (González y García, 1995).

De acuerdo con Roldán (2016), los estudios realizados sobre la constitución de las comunidades de macroinvertebrados brindan información relevante sobre la salud o calidad del ecosistema acuático, por lo que el método de estudio fundamentado en establecer estos organismos como bioindicadores ha sido ampliamente utilizada durante décadas como parte del monitoreo de la Calidad del agua en diversos sistemas acuáticos.

Roldán (2003), argumenta que las poblaciones biológicas, como los macroinvertebrados, se han destacado como bioindicadores de las condiciones ambientales; en este sentido Barbour et al., (1999) establece que, su presencia en el ecosistema brinda información del estado que prevalece en los diversos hábitats en cuanto a las características físicas, químicas y biológicas, pero también evidencia las diferentes presiones antrópicas que se ejercen sobre los ecosistemas naturales.

Algunos de los bioindicadores utilizados a través del tiempo han sido: “las algas, los protozoos, las bacterias, los peces, las macrófitas, los hongos y los macroinvertebrados acuáticos” (Roldan, 2003). En las últimas dos décadas las investigaciones basadas en este enfoque han permitido identificar el estado de los ecosistemas acuáticos desde una mirada ecológica, lo que ha servido como base para el desarrollo de procesos de gestión orientado a una increíble recuperación de los ecosistemas acuáticos (Roldán, 2016).

Basado en el importante papel de los macroinvertebrados en los sistemas de agua dulce, este estudio tiene como objetivo analizar la abundancia, riqueza y composición de las poblaciones presentes en un curso de agua lótica como lo es el Río Toribio ubicado en el Municipio de Ciénaga

vereda La Jolonura, con el fin de establecer la calidad del agua utilizando a los macroinvertebrados presentes como bioindicadores a través de un análisis de variables, teniendo en cuenta que esta fuente de agua es muy importante para el abastecimiento de agua de la ciudad de Ciénaga-Magdalena, y que actualmente ha sufrido enormes pérdidas y afectaciones antrópicas debido a la deforestación, la contaminación a lo largo de su cauce y la explotación minera.

Para ello se aplicó una metodología cualitativa y cuantitativa y se tuvo en cuenta variables ecológicas como: abundancia y riqueza y variables fisicoquímicas como: temperatura, pH, turbidez, TDS (Sólidos totales disueltos), conductividad, dureza, cloro libre, hierro, nitratos, nitritos, entre otros.

Así mismo se incluyeron multivariabes ecológicas como el índice de calidad biológica BMWP (Biological Monitoring Working Party Score). Este índice se logra al clasificar los diferentes organismos según el rango de tolerancia que tengan a diferentes niveles de contaminación, asignándoles una puntuación cuyo rango varía según el índice utilizado. El valor de calidad para el río estudiado resulta del sumatorio total de los valores de cada organismo presente en el ecosistema (Álvarez, 2005).

Material y métodos

Área de estudio

El estudio se desarrolló en la cuenca baja del río Toribio que forma parte de la vertiente noroccidental de la Sierra Nevada de Santa Marta, en el Municipio de Ciénaga del Departamento del Magdalena, corregimiento Cordobita (figura 2), vereda La Jolonura ($11^{\circ}05' N$, $74^{\circ}04' W$), desde una altitud de 0 metros sobre el nivel del mar y 1500 msnm.

Figura 2. Ubicación área de estudio



Fuente: Adaptado de Mapbox (s.f.).

CITAS

e-ISSN: 2422-4529 | <https://doi.org/10.15332/24224529>

Vol. 10, n.º 1 | enero – junio del 2024

Diseño de muestreo

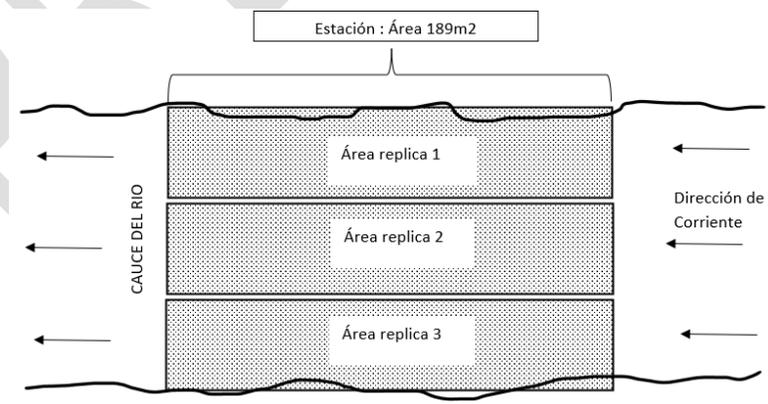
Para el desarrollo del estudio se realizó un recorrido previo por toda la cuenca baja del río entre una altitud de 0 msnm y 250 msnm con el fin de identificar zonas estratégicas con ayuda de la cartografía (tabla 1). De acuerdo con esto se tomaron tres sitios de muestreo (Estación 1: transecto bajo, Estación 2: transecto medio, Estación 3: transecto alto). Para la escogencia de las estaciones se determinó las características físicas del sustrato del hábitat de cada sección.

Tabla 1. Sección de acuerdo con el tipo de sustrato

Sección	Sustrato	Corriente
Alto	Peñas, rocas grandes y medianas y canto rodado	Corriente que presenta choros rápidos.
Medio	Guijarro y grava	Zona que presenta un canal más ancho con profundidades menores, en donde podemos encontrar pozas.
Bajo	Arena y limo. Presencia de vegetación sumergida	Zona que presente bajas corrientes, con pozas y espejos de agua con (flujo laminar)

En cada área de muestreo se tomó un transecto de 189 m², divididos en 3 áreas de réplicas de 63 m² cada una como lo muestra la figura 3, de acuerdo con el protocolo de AUSRIVAS. En cada punto se evaluó adicionalmente la ausencia, presencia y porcentaje de materia orgánica teniendo en cuenta la cobertura del cauce.

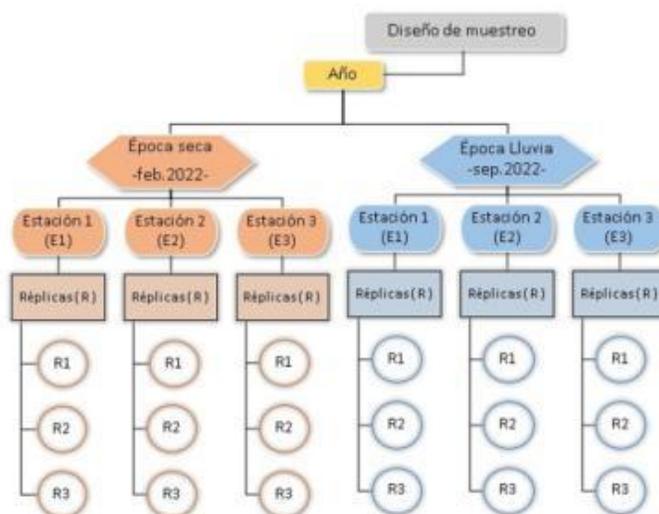
Figura 3. Distribución estación de muestreo



Nota: El gráfico representa una estación de muestreo y distribución de los transectos de réplicas al interior de la estación.

Teniendo en cuenta que el Municipio de Ciénaga presenta tres temporadas bastante marcadas en el año, una seca que va de diciembre a abril, una intermedia de mayo a julio y una de lluvias que va de septiembre a noviembre, se realizaron 2 muestreos, uno en época de baja pluviosidad y otro en época de alta pluviosidad. (figura 4).

Figura 4. Diseño de muestreo



Fuente: elaboración propia

Muestreo e identificación de los macroinvertebrados acuáticos

Teniendo en cuenta que el presente estudio fue de tipo cualitativo y cuantitativo, se utilizó un método de colecta diferente para cada caso de acuerdo con lo establecido en el protocolo metodológico elaborado por el Instituto Von Humboldt de Colombia (Alvarez, 2005), para la evaluación de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos.

Para la colecta de macroinvertebrados del estudio cualitativo, en cada transecto de muestreo se realizó un arrastre en contra de la corriente con la red D-net, por una longitud de 14 metros y un ancho aproximado de 4,5 metros, durante 15 minutos aproximadamente, esta actividad se realizó en 3 réplicas que cubriera las dos orillas de cauce y la zona central del río que fue delimitada con antelación, por otro lado se hizo un barrido en troncos y se levantaron rocas al azar a lo largo del cauce del río, con el objeto de obtener muestras de la mayor cantidad de hábitats posibles. Posteriormente, para el estudio cuantitativo se usó la Red de Surber con el fin de obtener muestras para establecer abundancia de organismos y biodiversidad (Álvarez, 2005).

Las muestras obtenidas se conservaron en una solución de alcohol al 70% al que se le adicionaron gotas de glicerina para evitar que los especímenes colectados adquieran rigidez. Los organismos colectados se dispusieron en viales de acuerdo con la estación donde fueron colectados para

posteriormente ser identificados y contados. Los macroinvertebrados colectados fueron trasladados al laboratorio de biología de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia del CEAD Santa Marta, en donde fueron identificados taxonómicamente haciendo uso de estereoscopios y claves taxonómicas como la de Roldán-Pérez, entre otros.

Parámetros fisicoquímicos

En cada estación se tomaron datos fisicoquímicos in situ como: pH, temperatura, oxígeno disuelto, dureza, nitritos, nitratos, hierro, cloro libre, TDS, conductividad y turbidez con ayuda de un medidor multiparamétrico y tirillas colorimétricas.

Índices Biológicos de Calidad

Los macroinvertebrados colectados se identificaron taxonómicamente hasta familia con el fin de poder obtener la data requerida para establecer los diferentes índices biológicos, esta información junto con los parámetros fisicoquímicos obtenidos permite entender de manera detallada cómo se encuentran organizadas las comunidades de macroinvertebrados en estos ecosistemas. A partir de la data obtenida se procedió a calcular los siguientes índices: Biological Monitoring Working Party (BMWP-Col) con el fin de establecer la calidad del agua del ecosistema.

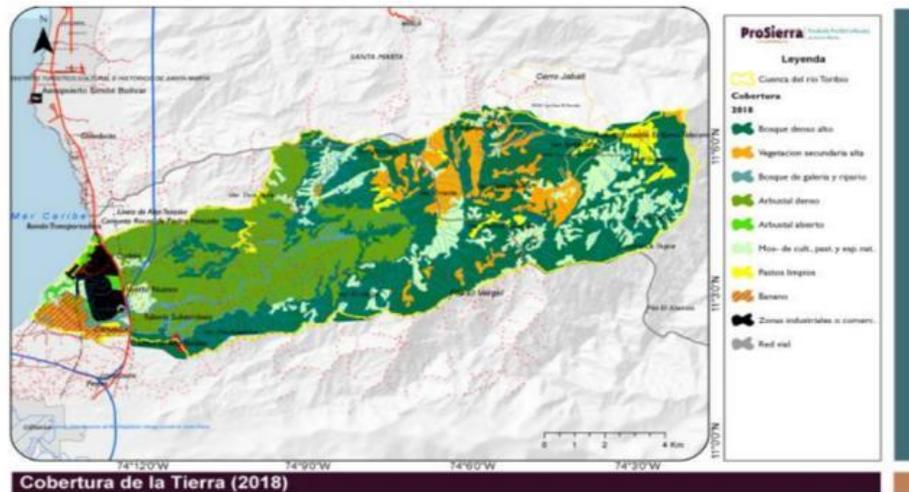
Por otro lado, a partir de las muestras obtenidas, se calcularon índices como el de Margalef o de riqueza, índice de abundancia relativa y el de biodiversidad también llamado de Shannon-Weaver, mediante el software Análisis de Datos Past versión 4,03.

Resultados

Caracterización de la cuenca del Río Toribio

De acuerdo con el estudio realizado por Rodríguez (2018), se encuentra una zona amplia dedicada al cultivo del banano, otra zona dedicada a la industria y el comercio, minería, bosque denso alto, arbustal denso y mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales. Lo que soporta la fuerte presión que se presenta en la parte baja de la cuenca de acuerdo con la figura 5.

Figura 5. Cobertura del suelo microcuenca río Toribio 2018



Fuente: Tomado de Rodríguez (2018).

Parámetros fisicoquímicos

En la tabla 2 se puede observar los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos en las 3 estaciones en las dos épocas pluviométricas.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos In situ

Parámetro	Unidad	Temporada Seca			Temporada de Lluvia		
		E1	E2	E3	E1	E2	E3
pH	unidades de pH	8,05	8,03	7,6	8,05	8,02	7,80
Temperatura	°C	25,4	25,3	24,6	27,70	27	25,8
Conductividad	µS/cm	118	118	116	128	123	119
TDS	ppm	57	57	52	65	65	62
Turbidez	NTU	2,5	1	1	2,90	2,90	2,70
Dureza	mg/L	425	350	350	425	250	250,0
Alcalinidad Total	mg CaCO ₃ /L	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00	<10,00
Nitratos	mg N-NO ₃ ⁻ /L	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20

CITAS

e-ISSN: 2422-4529 | <https://doi.org/10.15332/24224529>

Vol. 10, n.º 1 | enero – junio del 2024

Nitritos	mg N-NO ₂ ⁻ /L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Cloro libre	mg/L	0	0	0	0	0	0
Mercurio	mg/L	0	0	0	0	0	0
Plomo	mg/L	20	20	0	20	20	0
Cobre	mg/L	<1	<1	0	<1	<1	0
Hierro	mg/L	0,3	0,3	0,1	0,6	0,6	0,5
Fluoruros	mg/L	<50	<50	<50	<100	<100	<100
Bromo	mg/L	0	0	0	0	0	0
Cromo	mg/L	<1	<1	<1	<1	<1	0
Carbonatos	mg/L	20	20	10	20	20	29
Ácido cianurico	mg/L	<30	<30	0,00	<30	<30	<30

E1: estación 1; E2: estación 2; E3: estación 3

Fuente: elaboración propia

En temporada seca el pH tuvo una variación entre 8,05 de la estación 1 a 7,6 en la Estación 3. La menor temperatura se registró en la estación 3 (25,8 °C) y la mayor se registró en la estación 1 (27,7 °C). La conductividad osciló entre 116 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la estación 3 y 118 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la estación 1, teniendo una correlación estrecha entre los datos obtenidos para sólidos totales disueltos o TDS, que pasaron de la estación 3 de 52 ppm a 57 ppm en la estación 1. En cuanto a la dureza se tuvo una variación fuerte de la estación 3 con 200 mg/L a 425 mg/L en la estación 1, por lo que se puede inferir que en el recorrido entre la estación 3 que es la zona más alta a la estación 1 que es la más baja, el sistema acuático debe recibir algún tipo de escorrentía o vertimientos que generan que aumente la concentración de iones alcalinotérreos presentes en el agua como son los minerales de calcio (Ca) y magnesio (Mg), por lo anterior el agua del Río Toribio en las estaciones muestreadas puede ser catalogadas como agua dura.

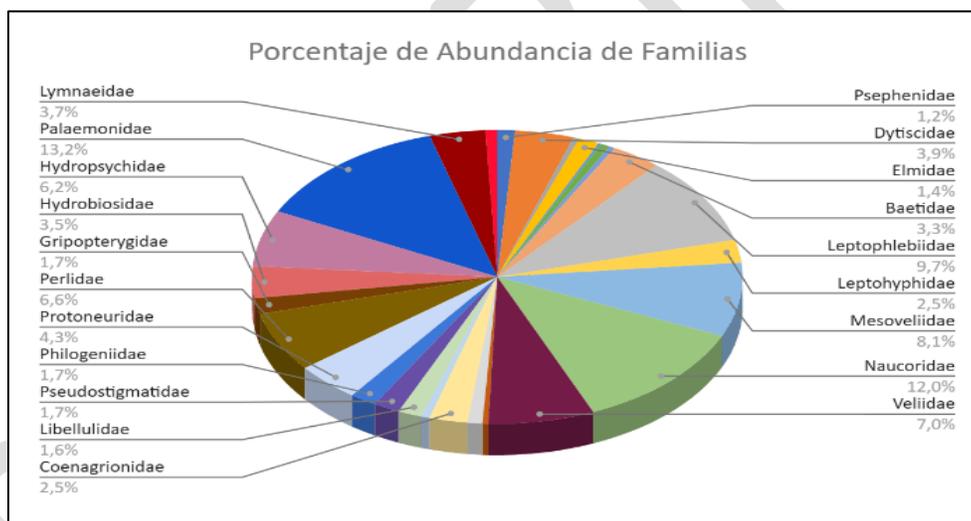
En el caso de la temporada de lluvia se presentaron cambios significativos en los parámetros de conductividad en donde se observa un aumento oscilando entre 118 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la estación 3 a 128

µS/cm en la estación 1. Por otro lado, se nota un aumento en el TDS de 62 estación 3 a 65 en la estación 1 que va correlacionada con el dato de conductividad. En cuanto la turbidez estos datos también presentaron aumento en la temporada de lluvia entre 2,7 en la estación 3 y 2,9 en la estación 1. Otro dato relevante se centró en el aumento en Fluoruros en esta estación pluviométrica con rangos de 100 mg/L.

Índice BMWP-Col

Con el fin de determinar el índice BMWP-Col se identificaron los organismos colectados por estación hasta nivel familia, en total se identificaron 516 individuos. En primer lugar, se encontró la abundancia total (Individuos) que se refiere al número total de individuos de todas las familias en una muestra. La familia más abundante fue la Palamonidae con 68 individuos, que equivale al 13,2% de todas las taxas recogidas, seguido de la Naucoridae con 62 individuos con un 12% y la Leptophlebiidae con 50 individuos que equivale al 9,7% como se puede observar en la figura 6.

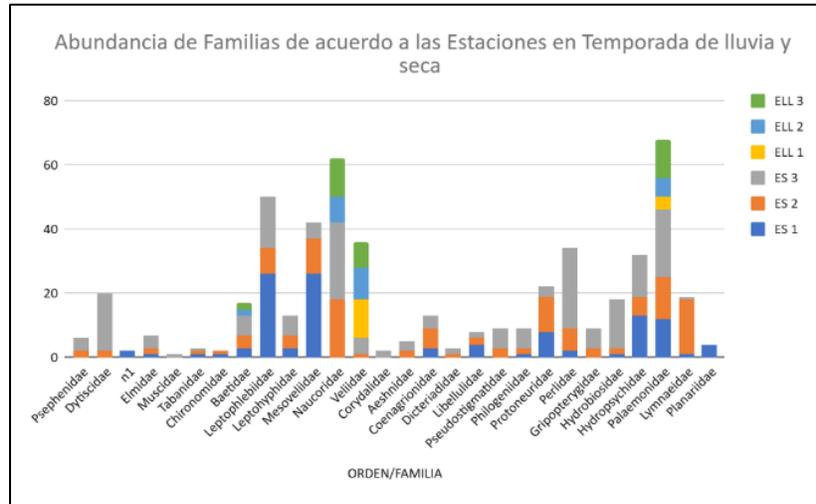
Figura 6. Porcentaje de Abundancia de Macroinvertebrados de acuerdo con las Familias



Fuente: elaboración propia

La abundancia de organismos y la diversidad varío de acuerdo con las épocas pluviométricas como se puede ver en la figura 7.

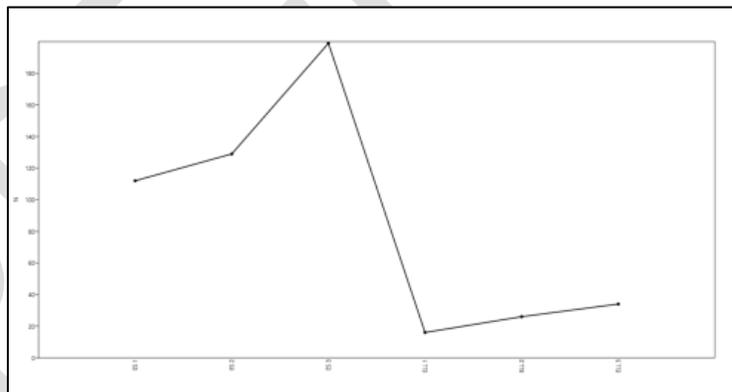
Figura 7. Abundancia de familias en las estaciones en temporada de lluvia y seca



Fuente: elaboración propia

En general, las estaciones 2 y 3 tanto en la época seca como en la época de lluvia presentan mayor abundancia como se observa en la figura 8.

Figura 8. Abundancia de familias en las estaciones estudiadas.



Fuente: elaboración propia

La estación que presentó mayor abundancia total de individuos en ambas épocas seca y lluvia fue la estación 3 con un total de 199 individuos que equivale al 45,2% de todos los individuos colectados en época seca y un 44% de los organismos colectados en la época de lluvia; por otro lado, la estación que presentó menor abundancia fue la estación 1 con un total de 16 individuos en época seca que equivalen a un 6%. Esto sugiere que las condiciones ambientales durante la temporada

pluviométrica de ausencia de lluvias son más favorables para la proliferación de estos organismos y que en la estación 3 indiferente a la época pluviométrica es la que tiene mejores condiciones.

A partir de los organismos colectados en campo se procedió a ajustar el índice BMWP-Col para la Cuenca del Río Toribio calificando los taxones presentes en cada una de las estaciones, mediante la sumatoria de los puntajes asignados a cada taxón de acuerdo con la tolerancia que cada uno tiene a la contaminación en donde los más tolerantes se les asigna 1 y los menos tolerantes 10 puntos. Para ello se utiliza la siguiente formula:

$$BMWP = T1+T2+T3+...Tn \quad (1)$$

Donde, T es el nivel de tolerancia y el número corresponde a la familia, resultando una sumatoria de todas las familias que indican los niveles de calidad de agua. El resultado obtenido para cada una de las estaciones se clasificó y comparó con la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de las aguas y su significado ecológico de acuerdo con el índice BMWP y color para cartografías

Valor del BMWP

Clase	Calidad		Significado	Color
		≥150	Aguas muy limpias	Azul oscuro
I	Bueno	123-149	Aguas no contaminadas	Azul claro
II	Aceptable	71-122	Ligeramente contaminadas: Se evidencian efectos de contaminación	verde
III	Dudosa	46-70	Aguas moderadamente contaminadas	Amarilla
IV	Crítica	21-45	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	<20	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	Roja

Los resultados obtenidos para cada una de las estaciones estudiadas, de acuerdo con el valor obtenido del BMWP se pueden observar en la tabla 4.

Tabla 4. Calidad ecológica en la zona baja del Río Toribio en las estaciones estudiadas durante época seca y de lluvia.

Estación	Época seca			Época de lluvia		
	1	2	3	1	2	3
Riqueza	18	24	25	2	4	4
Diversidad Alfa de Shannon-winner	2,281	2,802	2,84	0,5623	1,266	1,242
BMWP	115	170	178	16	31	31
Clase del Agua Cartografía	III	II	I	V	IV	IV
Calidad	Crítica	Buena	Buena	Muy crítica	Crítica	Crítica
Significado	Ligeramente contaminadas: Se evidencian efectos de contaminación	Se evidencian aguas muy limpias	Aguas muy limpias	Aguas fuertemente contaminadas, situación crítica	Aguas muy contaminadas	Aguas muy contaminadas

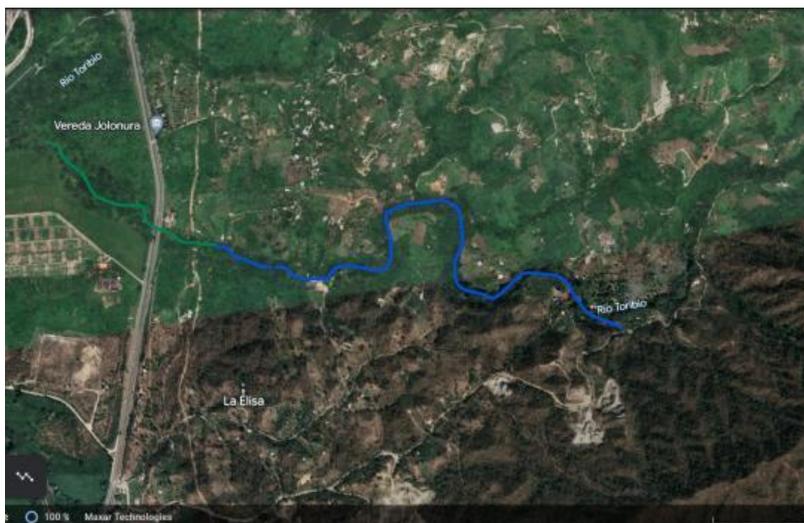
Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos nos brindan información precisa sobre el estado de contaminación de la fuente hídrica en estudio. Durante la temporada de lluvias, se observa que el río experimenta una calidad crítica en dos de sus estaciones (estaciones 2 y 3), mientras que en la estación 1, que corresponde a la zona más baja del río, la calidad es considerada como muy crítica. Estos hallazgos están directamente relacionados con los niveles bajos de diversidad alfa de Shannon y Winner establecidos para estas estaciones durante el periodo de lluvias.

En contraste, durante la temporada seca, se observa una mejoría en las condiciones de las estaciones 2 y 3, ya que presentan una calidad buena. Sin embargo, la estación 1 continúa mostrando una calidad crítica, indicando que aún existe una ligera contaminación en esa área.

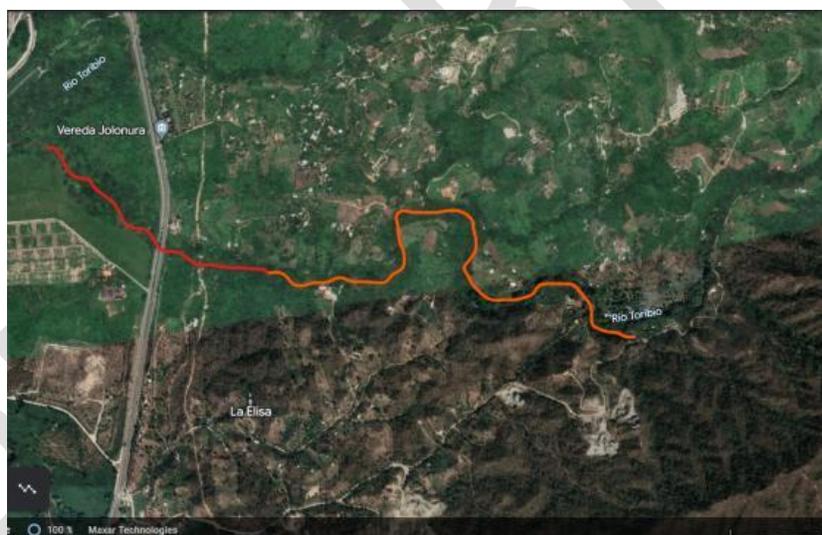
De acuerdo con la evaluación se pudo establecer un mapa con los colores cartográficos de la calidad ecológica del Río en la zona evaluada para época seca de acuerdo con la figura 9 y para época de lluvia figura 10.

Figura 9. Mapa de Calidad ecológica del Río Toribio zona baja en época de seca.



Fuente: adaptado de Google Earth

Figura 10. Mapa de Calidad ecológica del Río Toribio zona baja en época de lluvia.



Fuente: adaptado de Google Earth

A partir de los mapas cartográficos obtenidos, se puede inferir que las condiciones de la Calidad ecológica del agua en la zona de estudio tienen una afectación fuerte en la época de lluvia, ya que cambia considerablemente la riqueza de las poblaciones de macroinvertebrados presentes en estas estaciones versus las encontradas en época seca, lo que nos puede indicar que estas se desplazan a zonas con condiciones óptimas para ellas durante este periodo. Estos cambios se pueden dar posiblemente por los procesos de escorrentía de sólidos que van a parar al recurso, posiblemente por la falta de un plan de manejo ambiental en las canteras aledañas al cauce del río.

Discusión

En primer lugar, durante la época de lluvia, nuestros resultados concuerdan con los hallazgos de Yépez et al. (2017), quienes también observaron una calidad crítica en las estaciones 2 y 3, así como una calidad muy crítica en la estación 1. Esto sugiere una consistencia en los efectos de la lluvia en la contaminación del agua y la calidad del río en diferentes estudios. Además, nuestros resultados respaldan la afirmación de Yépez et al. (2017) de que la estación 1, que es la zona más baja del río, es especialmente vulnerable a la contaminación, lo que se refleja en la calidad muy crítica.

En contraste, durante la época seca, observamos una mejora en las condiciones de calidad del agua en las estaciones 2 y 3, donde se registra una calidad buena. Estos hallazgos son consistentes con los resultados reportados por Roldan (2003), Vásquez y Medina (2014), quienes también encontraron una mejor calidad del agua durante la época seca en áreas similares de estudio. Esto sugiere que las condiciones ambientales estacionales, como la cantidad de lluvia, pueden influir en la calidad del agua y la presencia de contaminantes.

Los bajos niveles de diversidad alfa de Shannon y Weiner establecidos para las estaciones 2 y 3 durante la época de lluvia respaldan los resultados de estudios anteriores. Por ejemplo, Vásquez y Medina (2014) también encontraron una disminución en la diversidad de macroinvertebrados durante la época de lluvia en su investigación. Estos resultados apuntan a una relación directa entre la contaminación del agua, la calidad del río y la diversidad de macroinvertebrados presentes en el ecosistema acuático. Estos resultados discrepan de los hallazgos reportados por Ramírez et al. (2016) en su estudio realizado en el río Bogotá, donde se observó un aumento en la abundancia durante la temporada de lluvias.

Por otro lado, los estudios realizados por Madera et al. (2016) en afluentes del Río Cesar, un departamento cercano al Río Toribio, muestran resultados similares a los obtenidos en nuestro estudio, con una disminución en la abundancia de organismos durante la temporada de lluvias. Estos resultados se refuerzan con el estudio llevado a cabo por Forero y Reinoso (2023), donde se evidenció una reducción en la abundancia durante este periodo. Estos hallazgos sugieren que los cambios en el caudal del río pueden desplazar a los organismos hacia otras áreas o que las variaciones en ciertos parámetros fisicoquímicos, como la turbidez del agua, el TDS y el pH, pueden generar desplazamientos hacia zonas más favorables en términos de condiciones ambientales.

En resumen, nuestros resultados están en consonancia con investigaciones previas realizadas por Yépez et al. (2017), Roldan (2004), Vásquez y Medina (2014), y Forero y Reinoso (2013), lo que refuerza la validez y la consistencia de los hallazgos. Se evidencia la influencia estacional en la calidad del agua, donde la época de lluvia se asocia con una calidad crítica y muy crítica, mientras que la época seca muestra una mejora en la calidad del agua, aunque aún se observa una ligera contaminación en la estación 1.

Los resultados enfatizan la importancia de implementar medidas de monitoreo y gestión ambiental en las estaciones y épocas más afectadas por la contaminación. Además, respaldan la necesidad de seguir investigando y analizando la relación entre la calidad del agua, la presencia de contaminantes y la diversidad de acroinvertebrados en diferentes condiciones ambientales lo que proporciona una base sólida para la toma de decisiones.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos del índice BMWP/Col las aguas de la zona baja del Río Toribio presentan condiciones que van en época seca desde buena es decir aguas no contaminadas hasta aguas aceptables ligeramente contaminadas. Sin embargo, en época de lluvia es cuando las condiciones de la calidad del agua reportan unas condiciones críticas de aguas muy contaminadas.

La data obtenida en cuanto a las variables fisicoquímicas, la composición y distribución de las comunidades de macroinvertebrados en las tres estaciones en las dos épocas (lluvia y seca) y los valores obtenidos en cuanto a los índices de BMWP, nos permiten inferir que en la E3 y E2 presentan las mejores condiciones en época seca, mientras que la E1 fue la que presentó la peor condición, esto puede deberse a que es en esta zona donde se encuentra mayor cantidad de fincas, en donde se realizan vertimientos directos de aguas servidas y además es una zona de alta influencia turística durante toda la semana, lo que evidencia una mala disposición de residuos sólidos. Por otro lado, entre la E2 y la E1 se construyó una represa para desarrollar un distrito de riego para las fincas que bordean el cauce del río, lo que puede afectar la libre movilidad de las poblaciones de macroinvertebrados.

En cuanto a la época de lluvia, las condiciones de la E1, E2 y E3 se deterioran notablemente, esto puede deberse a que las lluvias generan escorrentía y esta arrastra grandes cantidades de material particulado presentes en las canteras alledañas que se encuentran hacia el costado sur de la cuenca.

La degradación que presenta la cuenca del Río Toribio en la zona baja nos brinda herramientas para que se formule un Plan de ordenamiento de esta cuenca de manera integral involucrando todos los actores que en este momento intervienen de alguna manera en esta afectación, promoviendo campañas de educación ambiental, de saneamiento ambiental y disposición final de residuos sólidos entre otros. Por último, es importante desarrollar un trabajo con las mineras alledañas para que implementen buenas prácticas de manejo de las aguas de escorrentía instalando barreras o sedimentadores entre otros.

Contribución de los autores

Fanny Pinzón: Administración del proyecto, conceptualización, Metodología, Investigación, Redacción – borrador inicial, redacción revisión y edición.

Cindy García: Análisis formal, investigación, redacción - revisión y edición

Jazmín Anai Ávila: Redacción revisión y edición.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia y a la Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente por brindar el apoyo requerido para el desarrollo de este proyecto. Agradecemos a la empresa Amazonas Bioconsultores SAS, por brindarnos apoyo con la logística y los equipos requeridos para el desarrollo de este estudio y que dio origen a este artículo.

Por otro lado, agradecemos al Grupo de Investigación Zoobios por su apoyo a esta propuesta y al semillero SIASA en especial a la semillista Yennifer Ospino quien aportó en el muestreo y procesamiento de muestras en laboratorio.

Referencias

- Álvarez, L (2005), Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/31357>
- Barbour, M., Gerritsen, J., Zinder, B. y Stribling, J. (1999). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish. Segunda edición. EPA 841-B41-99-002. U. S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington, D.C.
- Forero, A.M. y Reinoso F.G., Estudio de la familia Baetidae (Ephemeroptera: Insecta) en una cuenca con influencia de la urbanización y agricultura: río Alvarado- Tolima, Rev. de la Asociación. Colombiana de Ciencias Biológicas, 25,12-21,2013.
- González, M. y García, D. (1995). Restauración de ríos y ribera. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. España. 1-113.
- Lara, J., Arreola, J., Calderón, L., Camacho, V., Espino, G.; Escofet, A., Espejel, M., Guzmán, M., Ladah, L, López, M., Meling E., Moreno, O, Reyes H., Ríos E., Zertuche, J. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, 109-134p.
- Madera, L. C., Angulo, L. C., Díaz, L. C., & Rojano, R. (2016). Evaluación de la Calidad del Agua en Algunos Puntos Afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores de Contaminación. Información Tecnológica, 27(4), 103 - 110. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400011>
- Ramírez D.F., Talero G.M., López RH, Macroinvertebrados Bentónicos y Calidad del Agua en un Tramo del Río Bogotá, Cajicá-Colombia, Rev. U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 16(1): 205 - 214, (2013)
- Rodríguez, A. (2018) Clasificación y análisis histórico de los cambios en los tipos de cobertura vegetal en la cuenca del río Toribio, Sierra Nevada de Santa Marta. Universidad del Magdalena. <http://repositorio.unimagdalena.edu.co/handle/123456789/2601>
- Roldán, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat., 40(155), 254-274. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Uso del método BMWP/Col. Universidad de Antioquia. Colombia. 170 p

- Rosenberg, D., & Resh, V. (1993). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall.
- Vásquez, M. y Medina, C. (2014) Calidad de agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros físicoquímicos en la microcuenca del río Tablachaca, Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas 35(2): 75-89. [file:///C:/Users/abata/Downloads/1079-2937-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/abata/Downloads/1079-2937-1-PB%20(1).pdf)
- Yépez, A., Yépez, A., Urdanigo, J., Morales, D., Guerrero, N., TayHing, C., (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador Aquatic macroinvertebrates as indicators of water quality in areas of residual discharge to the Quevedo River, Ecuador. Revista Ciencias Ambientales, 27-34.
https://www.researchgate.net/publication/318572792_Macroinvertebrados_acuaticos_como_indicadores_de_calidad_hidrica_en_areas_de_descargas_residuales_al_rio_Quevedo_Ecuador_Aquatic_macroinvertebrates_as_indicators_of_water_quality_in_areas_of_residual