



Evaluación de la calidad de agua mediante la identificación de macroinvertebrados bentónicos, en el Río Arapicos

Evaluation of water quality through the identification of benthic macroinvertebrates, in the Arapicos River

Avaliação da qualidade da água por meio da identificação de macroinvertebrados bentônicos, no rio Arapicos.

Mayra Elizabeth Chucay Chacha ^I
chucaymayra@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2723-9850>

Jesica Paola Arcos Logroño ^{III}
paola.arcos@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9462-2219>

Patricio Vladimir Méndez Zambrano ^{II}
patricio.mendez@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4305-8152>

Goering Octavio Zambrano-Cárdenas ^{IV}
goering.zambrano@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6975-8539>

Correspondencia: patricio.mendez@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de mayo de 2022 * **Aceptado:** 12 de junio de 2022 * **Publicado:** 26 de julio de 2022

- I. Investigador independiente, Macas Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Ingeniería Ambiental, Macas, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Ingeniería Ambiental, Macas, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago, Ingeniería Ambiental, Macas, Ecuador.

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo la evaluación de la calidad de agua mediante el Índice de Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation (ICA- NSF) y la identificación de macroinvertebrados bentónicos, en el río Arapícos. La investigación se inició con la selección de tres estaciones de monitoreo (PA-1, PA-2, PA-3) llevadas a cabo durante tres meses consecutivos. Se analizaron nueve parámetros del ICA establecidos por la NSF siguiendo la metodología establecida por el Standar Methods. Parámetros como temperatura, pH y oxígeno disuelto se midieron de manera in situ, mientras que, parámetros como DBO5, nitratos, fosfatos, coliformes fecales, sólidos disueltos totales y turbidez se analizaron en laboratorio. Para la recolección de macroinvertebrados bentónicos se empleó la red D-net puesto que el método requerido es cualitativo (presencia o ausencia). Los macroinvertebrados colectados en cada microhábitat se integraron para formar una muestra compuesta por cada estación para con ello analizar la diversidad taxonómica. Los resultados según el índice ICA-NSF presentan una calidad MEDIA del agua para las estaciones PA-1 y PA-2 y, para la estación PA-3 una calidad MALA del agua. Según el índice Biological Monitoring Working Party- Colombia (BMWP/Col) se registró un total de 10 órdenes y 24 familias de macroinvertebrados en las tres campañas de monitoreo, mostrando una calidad de agua ACEPTABLE para las estaciones PA-1 y PA-2 y para la estación PA-3 una calidad del agua DUDOSA. El Análisis Canónico de Correspondencia (ACC) muestra tres agrupaciones que relacionan los macroinvertebrados bentónicos con parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. En conclusión, la calidad del agua del río Arapícos varía en función del tiempo y las estaciones de monitoreo, siendo mejor en épocas de verano y en lugares con poca intervención humana. Se recomienda realizar monitoreos por periodos más largos para una evaluación detallada.

Palabras Clave: recurso hídrico; parámetros; bioindicador; bmwp/col; aceptable; dudosa.

Abstract

The objective of this research was to evaluate water quality through the Water Quality Index of the National Sanitation Foundation (ICA-NSF) and the identification of benthic macroinvertebrates in the Arapícos River. The investigation began with the selection of three monitoring stations (PA-1, PA-2, PA-3) carried out for three consecutive months. Nine ICA parameters established by the NSF were analyzed following the methodology established by the Standard Methods. Parameters such as temperature, pH, and dissolved oxygen were measured in situ, while parameters such as

BOD5, nitrates, phosphates, fecal coliforms, total dissolved solids, and turbidity were analyzed in the laboratory. For the collection of benthic macroinvertebrates, the D-net network was used since the required method is qualitative (presence or absence). The macroinvertebrates collected in each microhabitat were integrated to form a composite sample for each station in order to analyze taxonomic diversity. The results according to the ICA-NSF index show a MEDIUM water quality for the PA-1 and PA-2 stations and, for the PA-3 station, a BAD water quality. According to the Biological Monitoring Working Party-Colombia (BMWP/Col) index, a total of 10 orders and 24 families of macroinvertebrates were recorded in the three monitoring campaigns, showing ACCEPTABLE water quality for stations PA-1 and PA-2 and for station PA-3 a DOUBTFUL water quality. The Canonical Correspondence Analysis (CCA) shows three groups that relate benthic macroinvertebrates with physicochemical and microbiological parameters. In conclusion, the water quality of the Arapícos River varies depending on the time and the monitoring stations, being better in summer and in places with little human intervention. Monitoring for longer periods is recommended for a detailed evaluation.

Keywords: hidric resource; parameters; bioindicator; bmwp/col; acceptable; doubtful.

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a qualidade da água por meio do Índice de Qualidade da Água da Fundação Nacional de Saneamento (ICA-NSF) e a identificação de macroinvertebrados bentônicos no Rio Arapícos. A investigação teve início com a seleção de três estações de monitoramento (PA-1, PA-2, PA-3) realizadas por três meses consecutivos. Nove parâmetros de ICA estabelecidos pela NSF foram analisados seguindo a metodologia estabelecida pelos Métodos Padrão. Parâmetros como temperatura, pH e oxigênio dissolvido foram medidos in situ, enquanto parâmetros como DBO5, nitratos, fosfatos, coliformes fecais, sólidos totais dissolvidos e turbidez foram analisados em laboratório. Para a coleta de macroinvertebrados bentônicos, foi utilizada a rede D-net, pois o método requerido é qualitativo (presença ou ausência). Os macroinvertebrados coletados em cada microhabitat foram integrados para formar uma amostra composta para cada estação a fim de analisar a diversidade taxonômica. Os resultados segundo o índice ICA-NSF mostram qualidade MÉDIA da água para as estações PA-1 e PA-2 e, para a estação PA-3, qualidade RUIM. De acordo com o índice do Grupo de Trabalho de Monitoramento Biológico-Colômbia (BMWP/Col), um total de 10 ordens e 24 famílias de macroinvertebrados foram registrados nas

três campanhas de monitoramento, mostrando qualidade da água ACEITÁVEL para as estações PA-1 e PA-2 e para a estação PA-3 uma qualidade de água DUVIDA. A Análise de Correspondência Canônica (CCA) mostra três grupos que relacionam macroinvertebrados bentônicos com parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Em conclusão, a qualidade da água do Rio Arapícos varia em função do horário e das estações de monitoramento, sendo melhor no verão e em locais com pouca intervenção humana. O monitoramento por períodos mais longos é recomendado para uma avaliação detalhada.

Palavras-chave: recurso hídrico; parâmetros; bioindicador; bmwp/col; aceitável; duvidoso.

Introducción

El agua es la fuente y el sustento de la vida convirtiéndose en un recurso indispensable para el desarrollo socio económico de cualquier región del mundo, de los ecosistemas y supervivencia humana (Fernández, 2012). Se estima que alrededor del 20% de los acuíferos a nivel mundial están siendo explotados (UNESCO, 2015). Ecuador es un país que posee un gran potencial de recursos hídricos, siendo usados principalmente en la generación de hidroeléctrica, uso industrial, abastecimiento de agua potable y riego (Toledo y Mendoza, 2017). Estas actividades antrópicas que se desarrollan cerca de las fuentes de agua, generan vertidos con altas concentraciones de materia orgánica. Nitrógeno, fósforo, cromo, hidrocarburos entre otros contaminantes que conllevan al deterioro de la calidad del agua (FLACSO, 2008).

Dichos escenarios, conllevan a que diferentes países pongan en marcha programas de control y vigilancia de la calidad de las aguas (Alba y Sánchez, 1978). Entre los métodos más utilizados para evaluar la calidad de agua se encuentran los físico-químicos que proporcionan resultados instantáneos al momento de su análisis y los indicadores biológicos quienes nos proporcionan una visión retrospectiva de lo sucedido tiempo atrás (Alba, 1996).

El índice de calidad de agua ICA-NSF se denomina como un índice público debido a que nos proporciona una cualificación general del estado del agua, por ende, no se puede asignar para un determinado uso (Poonam et al., 2013). El índice BMWP-COL es un método sencillo donde se utiliza un enfoque cualitativo (presencia o ausencia de familias), siendo así que cada taxon recibe una puntuación de acuerdo a la sensibilidad ante la presencia de un contaminante (Forero et al. 2014).

Si bien es cierto, Ecuador es un país que posee importantes fuentes hídricas en cuanto a cantidad, mas no en calidad, debido a que en su mayoría se encuentran en procesos críticos de contaminación (Quiñonez, 2015). Entre estos se encuentra el río Arapícos, ubicado en la parroquia Río Blanco y Santa Marianita de Jesús perteneciente al cantón Morona y Sucúa, provincia de Morona Santiago. El río Arapícos es un recurso de gran importancia para el desarrollo y bienestar de los habitantes, por lo que actualmente este río presenta perturbaciones antrópicas debido a las diferentes actividades que se desarrollan a lo largo del río, tales como; agrícolas, ganaderas, piscicultura y turismo (PDOT, 2015). Ante este escenario, la investigación tiene como objetivo la evaluación de la calidad del agua mediante el Índice de Calidad de Agua ICA- NSF y la identificación de macroinvertebrados bentónicos (índice BMWP/Col), en el río Arapícos tramo Playas de Arapícos - San Miguel de Arapícos.

Siendo así que, la presente investigación muestra la calidad de agua que presenta el río Arapícos en un tramo de 2,7 km aproximadamente, por medio de la aplicación de índices de calidad de agua, con una duración de monitoreo y análisis en laboratorio de cuatro meses lo cual podría ser como punto de referencia para la toma de decisiones en el manejo integral de este recurso hídrico dentro de un marco de sostenibilidad.

I. MATERIALES Y MÉTODOS

➤ Área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el río Arapícos tramo Playas de Arapícos -San Miguel de Arapícos en la parroquia Río Blanco y Santa Marianita de Jesús, pertenecientes al cantón Morona y Sucúa, provincia de Morona Santiago. El mencionado río nace en la parroquia Río Blanco y desemboca en el río Upano, y cuenta con un área de 17,43 km² (PDOT, 2015).

Primero se realizó un recorrido del río y con apoyo de un GPS se seleccionó un tramo de 2,7 km aproximadamente del río Arapícos, en dicho tramo se establecieron 3 puntos de monitoreo que fueron georreferenciadas con el sistema UTM WGS 84. Con la ayuda del programa ArcMap versión 10.5 se elaboró el mapa de ubicación del tramo de estudio y las estaciones de monitoreo. Las campañas de monitoreo se realizaron durante tres meses consecutivos, en los meses de mayo, junio y julio de 2021 y los análisis se efectuaron mensualmente.

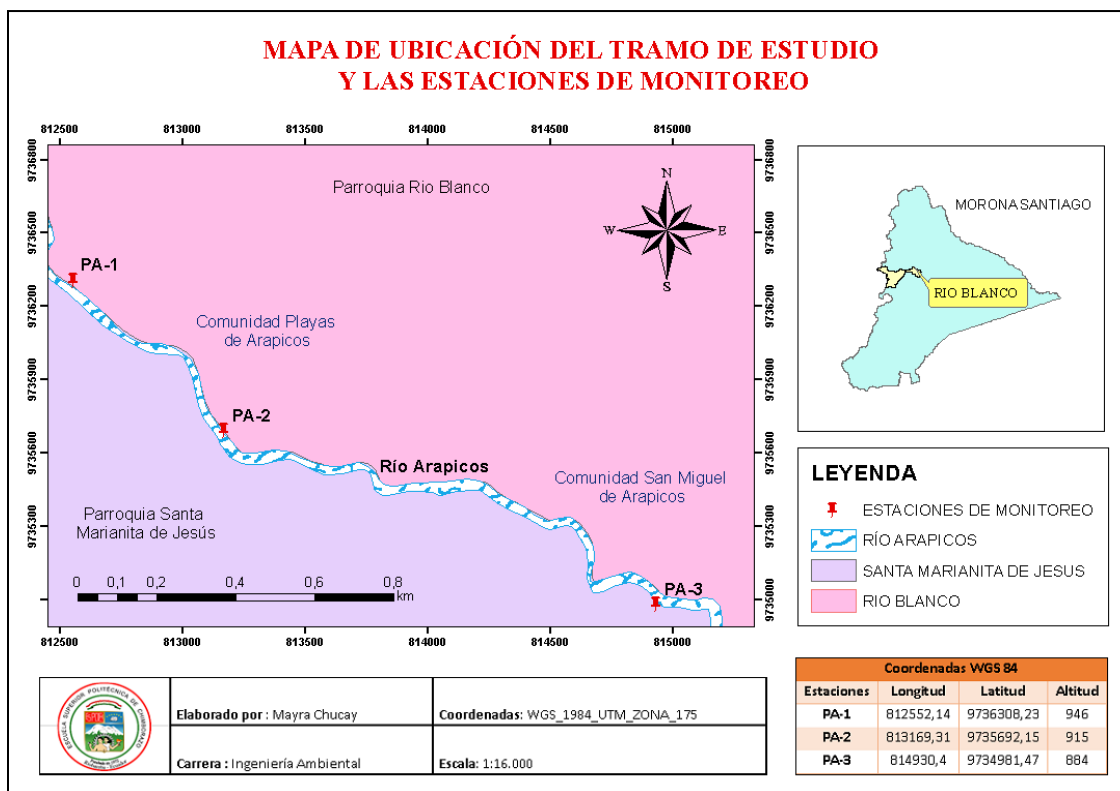


Ilustración 1 Mapa de ubicación del río Arapicos

➤ **Muestreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológico**

Durante todo el periodo de monitoreo se colectaron un total de 9 muestras de agua y 3 mensuales. Para la toma y conservación de las muestras del río Arapicos se llevó a cabo en base a la norma NTE INEN 2169: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de las muestras y *Standar Methods for the examination of wáter and Wastewater 23RD Edition*.

Una vez tomada las muestras, los frascos fueron debidamente etiquetados en la parte exterior y luego conservadas, evitando así que las muestras cambien en su composición desde su recolección hasta el día de su análisis (NTE INEN 2169, 2013).

Las muestras fueron llevadas al laboratorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago. Los parámetros, método y el procedimiento para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

➤ **Cálculo del índice ICA-NSF**

Para el cálculo del ICA-NSF, se realizó mediante el software IQADdata versión 2015, siendo una aplicación dedicada al desarrollo de diferentes índices de calidad de agua, que fue establecida por el programa de Maestrías en Sistemas y Procesos Industriales y en Tecnología Ambiental en alianza

con el Departamento de Biología y Farmacia de la Universidad de Santa Cruz del Sur. Este software es una versión actualizada del IQADData 2010 (Posselt, Costa y Lobo, 2015).

Los valores obtenidos en los análisis de cada uno de los parámetros se introdujeron directamente en una tabla, de tal manera que su cálculo fue inmediato, obteniendo así el valor de ICA-NSF. Para determinar la calidad del agua del río Arapícos se basó en los valores de la siguiente tabla.

Tabla 1 Parámetros, unidades y peso ICA-NSF

Parámetros de calidad	Unidades	Peso ICA
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	0,17
Coliformes fecales	NMP/100 ml	0,15
pH		0,12
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	0,10
Nitratos	mg/L	0,10
Fosfatos	mg/L	0,10
Temperatura	°C	0,10
Turbiedad	NTU	0,08
Sólidos disueltos totales	mg/L	0,08

Fuente: Brown et al., 1970, p. 342.

Tabla 2 Rangos de calidad de agua del ICA-NSF propuesta por Brown

Calidad	Rango	Color
Muy mala	0-25	
Mala	26-50	
Media	51-70	
Buena	71-90	
Excelente	91-100	

Fuente: Wills y Irvine, 1996.

➤ **Muestreo de macroinvertebrados bentónicos**

Durante todo el muestreo se colectaron un total de 9 muestras durante tres meses consecutivos y 3 muestras mensuales. Para el monitoreo de los macroinvertebrados bentónicos del río Arapícos se llevó a cabo en base a las referencias bibliográficas de Carrera y Fierro, 2001, Roldán, 2003 y Alba, 1996. Con la finalidad de evitar que los macroinvertebrados sean arrastrados por la corriente, los muestreos se realizaron desde la última estación hacia la primera. De la misma manera para evitar enturbiar el agua, el monitoreo se inició aguas abajo, finalizando aguas arriba de cada estación (Alba, 1996).

Para el muestreo del río Arapícos se utilizó la red D-net de 500 μm debido a que las aguas son poco corrientosas y el método requerido para la recolección es cualitativa (presencia o ausencia) (Roldán, 2003). En cada estación de muestreo se sumergió la red D-net contra corriente hasta tocar el lecho del río, formado un ángulo de 90°. Posterior a ello se removió con la mano el sustrato vegetal, piedras, troncos por un tiempo de un minuto, para luego ser depositado en una bandeja blanca con agua que se encontraba colocado a la orilla del río, de tal manera impedir que la red se sature y los macroinvertebrados sean arrastrados por la corriente.

El tiempo de recolección de los macroinvertebrados varía dependiendo la presencia de familias, por lo que en cada estación se empleó un periodo de 45 minutos aproximadamente, dando por terminado el muestreo cuando ya no existían recolección de nuevas familias (Alba, 1996).

Una vez depositado los macroinvertebrados en la bandeja blanca, se procedió a separar el material orgánico de los macroinvertebrados con la ayuda de una lupa, ya que existían especímenes sumamente pequeños difíciles de identificar a simple vista (Roldán, 2003). Posteriormente, con la ayuda de una piza entomológicas los macroinvertebrados se colocaron en un frasco de plástico de boca ancha con alcohol al 70%. Cada frasco fue debidamente etiquetado en la parte exterior con el código de la estación, fecha y responsable del muestreo (Carrera y Fierro, 2001).

➤ **Identificación de los macroinvertebrados**

Las muestras fueron llevadas al laboratorio de microbiología de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago. Las muestras colectadas fueron depositadas en una bandeja blanca y con la ayuda de una pinza entomológica fueron colocados en una caja Petri. Luego con el apoyo del estereomicroscopio y una lámina de identificación propuesta por Roldán (2003), se procedió a su reconocimiento según su grupo taxonómico hasta la familia.

➤ **Cálculo del índice BMWP/COL**

Una vez identificadas a la familia que pertenece cada macroinvertebrado, se procedió a clasificarla de acuerdo a su sensibilidad que presentan cada una, para ello se utilizó una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel, donde se registró cada familia según el puntaje establecido en la tabla 3.

Para obtener el valor del índice BMWP/Col de cada estación, se suma los puntajes de cada familia y se obtiene un valor total, ese valor se clasifica de acuerdo a la tabla 4, para finalmente obtener la calidad del agua que presenta el río Arapícos.

Tabla 3 Puntajes de las familias de macroinvertebrados para aplicar el índice BMWP/Col

FAMILIAS	PUNTAJES
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcyidae, Xiphocentronidae	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyaellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohipidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	5

Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Noteridae	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae	2
Tubificidae	1

Fuente: Roldán, 2003, p. 31.

Tabla 4 Clasificación de la calidad del agua según el índice BMWP/Col

CLASE	CALIDAD	BMWP/Col	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	>150, 101-120	Aguas muy limpias a limpias	Azul
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Fuente: Roldán, 2003, p. 32.

II. RESULTADOS

➤ Resultados de la valoración de los análisis fisicoquímicos y microbiológico

Los resultados de los parámetros correspondientes a: pH, turbidez y DBO₅ fueron comparados con los valores de la tabla 2 del Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma al Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, donde establece los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.

Tabla 5 Resultados del ICA-NSF en las estaciones de monitoreo

ICA-NSF				
Unidad	Mayo	Junio	Julio	

Parámetros		Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación
		PA-1	PA-2	PA-3	PA-1	PA-2	PA-3	PA-1	PA-2	PA-3
Coliformes	NMP/100ml	78	0	228	150	0	405	250	1020	695
Oxígeno disuelto	mg/L	8,75	8,93	9,09	9,25	9,76	9,53	9,54	9,9	10,3
pH		7,19	7,37	7,39	7,95	8,12	7,96	8,04	8,06	7,98
DBO5	mg/L	11	11	12	10	10	11	12	12	13
Nitratos	mg/L	2,05	1,6	4,1	1,6	1,4	6,1	2,5	1,8	2,1
Fosfatos	mg/L	0,91	0,65	3,04	1,15	0,43	5,6	0,66	0,86	0,48
Temperatura	°C	20,2	19,9	19,9	20,7	20,5	20,6	20,2	19,3	19
Turbiedad	NTU	3,94	2,6	8,9	1,47	2,1	14,1	6,49	3,1	3,7
Sólidos disueltos totales	mg/L	260	300	380	40	100	180	60	200	300

En la tabla 5 se presenta los resultados del ICA-NSF en cada estación y campaña de monitoreo correspondiente a los meses de mayo, junio y julio. En el mes de mayo en las estaciones PA-1 y PA-2 los valores de los índices son de 59,83 y 69,76, respectivamente, encontrándose dentro del rango de calidad MEDIA del agua, mientras que en la estación PA-3 presenta un índice de 45,60 obteniendo una clasificación de calidad MALA.

En la estación PA-1 existen tres parámetros que influyen en la disminución de los valores del índice entre los cuales se encuentra los coliformes fecales, los fosfatos y la DBO5, mientras que en la estación PA-2 el fosfato y la DBO influyen en la disminución del índice de calidad y por ultima es la estación PA-3 parameros como coliformes fecales y fosfatos disminuyen significativamente al valor del índice.

En el mes de junio en la estación PA-1 se presentó un valor de 59,71 clasificando como una calidad MEDIA del agua, en este punto parámetros como los coliformes fecales y fosfatos influyen en gran medida la disminución del valor del índice. En la estación PA-2 se muestra un valor de 72,96 encontrándose dentro del rango de calidad BUENA del agua, sin embargo, el incremento de la DBO5 y los fosfatos disminuye el índice. Finalmente, en la estación PA-3 muestra un índice de 40,69 clasificándose como MALA calidad, la disminución del índice está relacionada a los coliformes fecales y los fosfatos.

En la última campaña de monitoreo correspondiente al mes de julio en la estación PA-1, PA-2 y PA-3 los valores del índice se mantienen dentro del rango de calidad MEDIA del agua. Los coliformes fecales es el parámetro que mayor influye en la disminución del índice en las tres estaciones de monitoreo.

Tabla 6 Resultado general del ICA-NSF en las diferentes estaciones de monitoreo

ICA						
Estaciones de monitoreo	de	Mayo	Junio	Julio	Promedio	Calificación
PA-1		59,83	59,71	55,65	58,40	MEDIA
PA-2		69,76	72,96	51,48	64,73	MEDIA
PA-3		45,60	40,69	52,20	46,16	MALO

En la tabla 6 se presenta un promedio general del ICA-NSF en cada una de las estaciones correspondientes a las tres campañas de monitoreo. En la estación PA-1 y PA-2 presentan un índice promedio de 58,40 y 64,73, encontrándose dentro del rango de calidad MEDIA del agua, mientras que, en la estación PA-3 muestra un promedio general de 46,16 clasificándose como calidad MALA del agua del río Arapícos.

Las variaciones de los parámetros fisicoquímicos están generalmente relacionadas con descargas puntuales de desechos orgánicos e inorgánicos previo a la toma de muestras (Forero, Reinoso y Gutiérrez, 2013). Siendo de vital importancia considerar que los parámetros fisicoquímicos medidos reflejan las condiciones al momento de la toma de muestras, mas no refleja perturbaciones que hayan sufrido un ecosistema acuático a lo largo del tiempo (Alba, 1996).

➤ **Resultados del índice BMWP/Col en las estaciones de muestreo**

Tabla 7 Resultado del índice BMWP/Col en las estaciones del periodo de estudio

BMWP/Col						
Estaciones de monitoreo	Mayo	Junio	Julio	Promedio	Clase	Calidad
PA-1	75	103	85	88	II	Aceptable
PA-2	77	71	76	75	II	Aceptable
PA-3	40	57	67	55	III	Dudosa

En la tabla 7 se muestra el promedio general del índice BMWP/Col en cada una de las estaciones correspondientes a las tres campañas de monitoreo (mayo, junio y julio). En la estación PA-1 y PA-2 presenta una valoración promedio del BMWP/Col con 88 y 75 respectivamente, encontrándose dentro de la clase II, calidad de agua ACEPTABLE con aguas ligeramente contaminadas, mientras que, en la estación PA-3 muestra una valoración promedio de 55 catalogada como clase III y una calidad de agua DUDOSA lo que significa que las aguas en la tercera estación del río Arapícos se encuentra moderadamente contaminada según el índice BMWP/Col.

➤ Análisis comparativo del índice biológico con el índice fisicoquímico

Para la comparación de los índices se empleó el análisis canónico de correspondencia (ACC) de modo que permita conocer si los macroinvertebrados tienen relación con variables ambientales. En la ilustración 2 se muestra el análisis canónico de correspondencia presentando en tres agrupaciones, el primero está relacionado la temperatura con un valor de 19,83°C con familias como: *Ceratopogonidae*, *Calamoceratidae*, *Scirtidae*, *Psychodidae*. La segunda agrupación se encuentran las variables fisicoquímicas como: nitratos con un valor de 4,10 mg/L, fosfatos con 3,04 mg/L, DBO con 12 mg/L y la turbidez con 8,90 NTU que se relacionan con familias como: *Odontoceridae*, *Tubificidae* y *Libellulidae*. Para la tercera agrupación variables como Oxígeno Disuelto con 9,53 mg/L, coliformes con 340 NMP/100ml y SDT con 200 mg/L se relacionan con macroinvertebrados de las familias *Coenagrionidae* y *Dryopidae*.

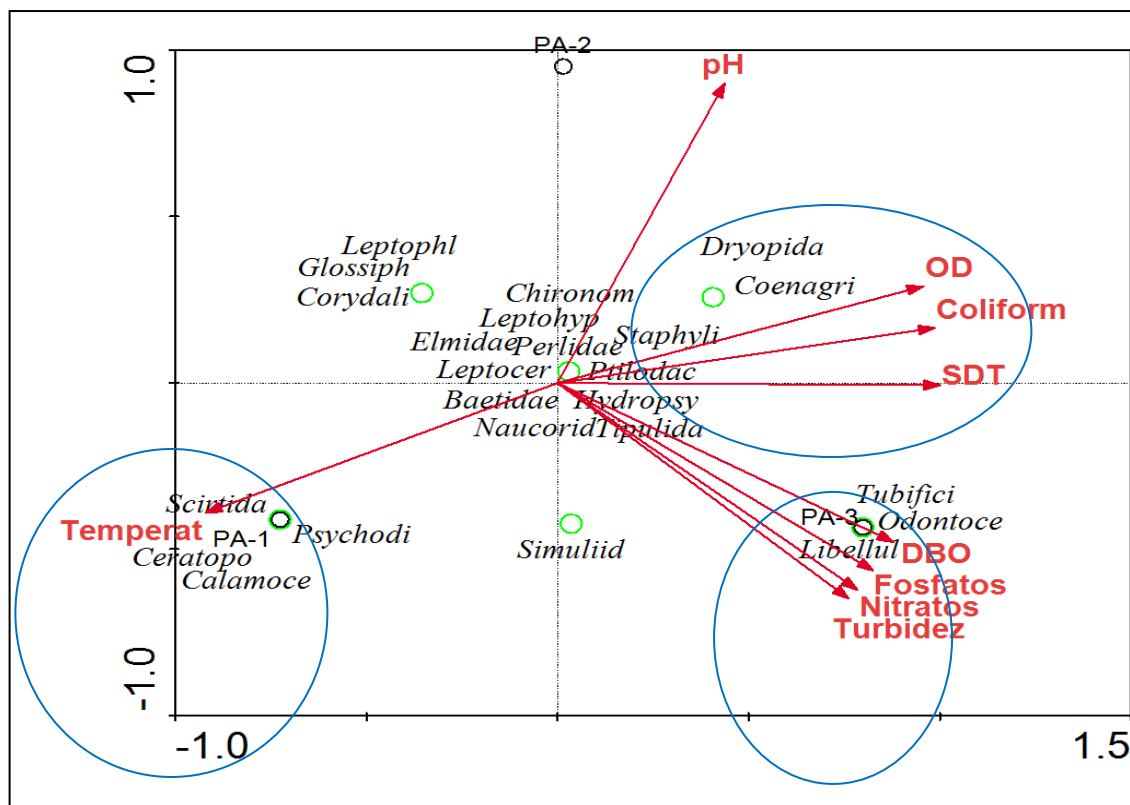


Ilustración 2 ACC de variables fisicoquímicas y macroinvertebrados acuáticos del río Arapícos

Discusión

La turbidez se encuentra dentro del límite par criterios de calidad de agua para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces y marinas y de estuarios en condición natural más de 5%, si la turbiedad natural varía entre 0 y 50 NTU (Ministerio del Ambiente). Sin embargo, el valor elevado de turbidez en el mes de junio con respecto a los meses de mayo y julio se debe a que hubo precipitación, lo que ocasiona el arrastre de sedimentos por escorrentía y el levantamiento de sedimentos del fondo del río haciendo que las aguas permanezcan con altas concentraciones de solidos disueltos y en suspensión (Roldán y Ramírez, 2008).

La elevada concentración de nitratos (mayores a 5 mg/l) usualmente indica contaminación por las actividades antropogénicas que se desarrollan a las riberas del río como son la agricultura generando escorrentía de los fertilizantes y los desechos de animales (Martínez, 1996). Incluso la presencia de nitratos puede ser un indicativo de contaminación fecal, debido a que existen iones amonio presentes en tanques sépticos que luego son convertidos en nitratos, y estos muchas de las veces se filtran hasta llegar a los cuerpos de agua (Bolaños, Cordero y Segura, 2017).

Durante las tres campañas de monitoreo correspondiente a las tres estaciones en estudio se puede apreciar el comportamiento de las concentraciones de DBO₅, reflejando variaciones mínimas entre cada una de ellas y encontrándose dentro del límite permisible 20 mg/l del Acuerdo Ministerial 097 tabla 2: criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios (Ministerio del Ambiente, 2015). Siendo así que no se requiere de gran cantidad de oxígeno para oxidar la materia orgánica e inorgánica.

Elevadas concentraciones de coliformes fecales en el agua determina contaminación por heces de origen humano y animal (Sierra, 2011), por lo que en la elevada concentración de coliformes fecales en la estación PA-2 podría estar atribuida a que en cerca de esta zona existen personas que residen en el lugar, adicional a ello durante el último mes de muestreo se evidencio la presencia de ganado a las orillas del río Arapícos. También podría estar relacionada al uso del suelo con la utilización de estiércol como fertilizante (Rock y Rivera, 2014) ya que en el lugar existen sembríos de caña.

Conclusiones

- Se analizó la calidad de agua, mediante el índice de calidad de agua ICA- NSF en las tres estaciones y campaña de muestreo, obteniendo como promedio general de calidad del agua: PA-1 = MEDIA, PA-2 = MEDIA, PA-3 = MALO. Los parámetros que influyen en gran medida la disminución del valor del índice por ende la calidad del agua en las tres estaciones es: coliformes fecales con un 25,8%, fosfatos con un 21,37% y la DBO₅ con un 9%. Los valores obtenidos de los parámetros fisicoquímico como pH, DBO₅ y turbidez se encuentran dentro del límite permisible de la tabla 2 del Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma al Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, donde establece los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios.
- Se analizó la calidad de agua, mediante la identificación de macroinvertebrados bentónicos utilizando el índice biológico BMWP/Col, obteniendo valores promedios en cada una de las estaciones durante las tres campañas de monitoreo, siendo así que, en las estaciones PA-1 y PA-2 presenta una calidad ACEPTABLE catalogada como clase II con aguas ligeramente contaminadas, mientras que la estación PA-3 presenta una calidad DUDOSA

catalogada como clase III con aguas moderadamente contaminadas. A lo largo de las tres campañas y en las tres estaciones de monitoreo se recolectaron un total de 10 órdenes correspondientes a 24 familias de macroinvertebrados bentónicos.

Se comparó los resultados obtenidos del índice ICA-NSF y los resultados del índice biológico BMWP/Col mediante el análisis canónico de correspondencia (ACC) donde se pudo observar tres agrupaciones de macroinvertebrados que se relacionan con parámetros como la temperatura, DBO, fosfatos, nitratos, turbidez, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales y coliformes fecales.

Referencias

1. Aguirre, M., Vanegas, E., & García, N. (2016). Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 25(2), 39–43.
2. Alba, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. *Research Gate*, 2, 203–213.
3. Alba, J., & Sánchez, A. (1978). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell(1978). *Limnetica*, 4(1), 51–56.
4. Bolaños, J., Cordero, G., & Segura, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología En Marcha*, 30(4), 15–27. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
5. Brown, R., McClelland, N., Deininger, R., & Tozer, R. (1970). A Water Quality Index Do we? *Water And Sewage Works*, 117(10), 339–343.
6. Carrera, C., & Fierro, K. (2001). Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua (O. Zambrano (ed.); Primera, Vol. 1). *EcoCiencia*.
7. Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147–170.
8. FLACSO. (2008). *GEO Ecuador 2008: Informe sobre el estado del medio ambiente* (G. Fontaine, I. Narváez, & P. Cisneros (eds.)). Ministerio del Ambiente.
9. Forero, A., Reinoso, G., & Gutiérrez, C. (2013). Evaluación de la calidad del agua del río Opia(Tolima- Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos. *Limnología*, 35(2), 371–387.

10. Forero, L., Longo, M., Ramírez, J., & Chalar, G. (2014). Índice de calidad ecológica con base en macroinvertebrados acuáticos para la cuenca del río Negro (ICE RN-MAE), Colombia. *Revista Biología Tropical*, 62(2), 233–247.
11. Lozano, M. (2019). Determinación de la Calidad del Agua mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores en la microcuenca del río Guanganza Chico de la provincia de Morona Santiago. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
12. Martínez, J. (1996). Estudio de la Calidad de las Aguas Superficiales del río San Pedro. *Investigación y Ciencia*, 5(17), 27–39.
13. Ministerio del Ambiente. (2015). Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.
14. NTE INEN 2169. (2013). Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y conservación de las muestras.
15. PDOT. (2015). Actualización del Plan de Ordenamiento Territorial de la parroquia Río Blanco.
16. Posselt, E., Costa, A., & Lobo, E. (2015). Software IQADData. Programa de Mestría En Sistemas y Processos Industriales PPGSPI, PPGMTA, UNISC.
17. Rock, C., & Rivera, B. (2014). La Calidad del Agua, E. Coli y su salud. Universidad de Arizona.
18. Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Universidad de Antioquia.
19. Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* (2a. ed). Editorial Universidad de Antioquia.
20. Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico* (Ediciones de la U (ed.)). <https://elibro.net/es/ereader/epoch/70981>
21. Toledo, M., & Mendoza, B. (2017). Estudio de la calidad de agua utilizando bioindicadores, en microcuenca del río Chimborazo (EC). *Research Gate*, 27, 1–15.
22. UNESCO. (2015). *El crecimiento sostenible y la creciente demanda mundial de agua*. WWDR.

23. Wills, M., & Irvine, K. (1996). Application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index in Cazenovia Creek, NY, Pilot Watershed Management Project. *Middle States Geographer*, 95–104.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).